

KIPSAUSTELINEEN TUOTEKEHITYS

Anni Mikkola

Opinnäytetyö
Lokakuu 2013

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Mikkola, Anni	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 31.10.2013
	Sivumäärä 72	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi KIPSAUSTELINEEN TUOTEKEHITYS		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja(t) Sällinen, Pekka Jaaranen, Kalevi		
Toimeksiantaja(t) Merivaara Oy Kankaanpää, Pasi		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksen tarkoituksena oli tehdä kipsausteline, joka helpottaa alaraajakipsausta. Teline mahdollistaa alaraajan tuennan kipsauksen aikana ja raajan oikean asennon kipsauksen ja kipsin kuivumisen ajan. Tutkimustyö oli jatkoa jo aloitetulle Merivaara Oy:n kipsaustelineen tuotekehitysprojektille. Kehitysidea on lähtöisin asiakkailta, jotka ovat kokeneet tuotteen tarpeelliseksi.</p> <p>Kipsaustelineen prototyyppi yksi oli olemassa ennen tutkimustyön aloittamista. Tässä tutkimuksessa toteutettiin kipsaustelineen tuotesuunnittelu loppuun ja materiaalivalinta kipsaustelineen kertakäyttöisille nilkka- ja polvituelle. Tuotetta testattiin asiakkaiden kanssa ja heidän mielipiteiden perusteella tehtiin tuotemuutokset. Tuotemuutosideat olivat: nilkkatuen suurentaminen, molempien kertakäyttötukien kiinnityksien parantaminen, lateraalisäädön mahdollistaminen ja lukkojen liikuttavuuden parantaminen. Kertakäyttötukien valmistus otettiin huomioon tuotesuunnittelussa. Tämän tutkimustyön aikana tehtiin kipsaustelineen prototyyppi kaksi. Tutkimuksen lähtötietoina olivat jo aloitetun projektin tiedot.</p> <p>Tutkimus osoitti, että kertakäyttöisten tukien materiaaliksi soveltuvat erikoispolymidit PA 12 tai PA 6/10 ja kipsaustelineen prototyyppi kaksi tyydyttää asiakkaiden tarpeet. Saadut materiaalivaihtoehdot ovat kuitenkin suuntaa-antavia, koska materiaalivalinta perustuu teoreettiseen tulokseen. Tulevaisuudessa kertakäyttötuotteiden materiaalivalinta varmistuu, kun tuotteet valmistetaan oikeilla työkaluilla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Tuotekehitys, Materiaalivalintaprosessi, Kipsausteline, Muovi, 3D- suunnittelu, Merivaara Oy		
Muut tiedot		



Author(s) Mikkola, Anni	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 31.10.2013
	Pages 72	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title THE PRODUCT DEVELOPMENT OF SUPPORTING POST FOR PLASTER CAST		
Degree Programme Wellness Technology		
Tutor(s) Sällinen, Pekka Jaaranen, Kalevi		
Assigned by Merivaara Oy Kankaanpää, Pasi		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this research was to make a supporting post for a plaster cast which helps when putting a lower limb in plaster. The supporting post enables the support for a lower limb and the right position of a limb during plastering and when the plaster dries. This research was a continuation of an already began product development project of a supporting post for a plaster cast of Merivaara Oy. The development idea came from the customers who have experienced that the product is necessary.</p> <p>The prototype number one of the supporting post for a plaster cast was made before this research began. In this research the product design of the supporting post for a plaster cast was completed and the material was selected for the throwaway knee and ankle support of the supporting post for a plaster cast. The product was tested with the customers and the product modifications were carried out according to the opinions of the customers. The ideas of the modifications were: to enlarge the ankle support, to upgrade the fastenings of both throwaway supports, to enable the lateral adjustment and to upgrade the movability of the locks. The manufacturing of the throwaway supports was taken into consideration when the product design was made. During this research the prototype number two of the supporting post for a plaster cast was made. The information of the already began project was the source information of this research.</p> <p>This research has shown that the special polyamide PA 12 or PA 6/10 is a suitable material for the throwaway supports and the prototype two of the supporting post for a plaster cast satisfies the needs of the customers. However, the material choices are suggestive because the choices are based on the theoretical result. In the future the material selection of the throwaway supports will be confirmed when the products will be manufactured with the right tools.</p>		
Keywords Research and development, Material selection process, Supporting post for plaster cast, Plastic, 3D design, Merivaara Oy		
Miscellaneous		

Sisältö

1 Asiakkaiden tarpeet tutkimustyön lähtökohtana	5
2 Tuotekehityksen teoriaa.....	6
3 Kipsausteline.....	8
3.1 Kipsaustapahtuma.....	8
3.2 Kipsausteline ennen tutkimusta.....	8
3.3 Koekipsauksen havainnot.....	9
3.4 Kipsaustelineen kertakäyttötukien materiaalinvalinta	10
4 Tuotemateriaalina muovi	11
4.1 Muovien luokittelu	12
4.2 Muovien termiset ominaisuudet.....	15
4.3 Mekaanisten rasituksien aiheuttamat muutokset muoviin.....	16
4.4 Muita muovien ominaisuuksia	24
4.5 Muovien lisäaineet	25
5 Ruiskuvaluprosessi	28
6 Kipsauksen helpottaminen	30
7 Kipsaustelineen tuotekehitys ja materiaalivalintaprosessi	31
7.1 Kipsaustelineen tuotekehitysmuutokset	31
7.1.1 Kipsaustelineen tuotemuutokset	31
7.1.2 Tuotemuutoksiin johtavat tekijät.....	33
7.1.3 Kestävyystestaus, SolidWorks Simulation.....	39
7.1.4 Kipsaustelineen lisätuotemuutokset.....	45

7.2 Materiaalivalintaprosessi	50
8 Tutkimustyön tulokset	57
8.1 Lopullinen kipsausteline	57
8.1.1 Kipsaustelineen runko	57
8.1.2 Nilkkatuki	58
8.1.3 Polvituki	59
8.2 Materiaalivalinnaksi erikoispolyamidi	60
8.3 Valmistusmenetelmäksi ruiskuvalu	63
9 Pohdinta	63
Lähteet	67
Liitteet	69
Liite 1. Kipsaustelineen tuotekehitysprojektin työtehtävät	69
Liite 2. Nilkkatuki	71
Liite 3. Polvituki	72
Liite 4. Kipsausteline	73

Kuviot

Kuvio 1. Kipsaustelineen protoversio yksi.....	9
Kuvio 2. Erilaisia polymeeriketjuja	14
Kuvio 3. Hooken kimmoisuus	16
Kuvio 4. Viskoosinen juoksu	17
Kuvio 5. Viskoelastisuus	17
Kuvio 6. Vetolujuus.....	18
Kuvio 7. Jännitys-venymäkäyriä	19
Kuvio 8. Lämpötilan vaikutus muovin mekaanisiin ominaisuuksiin.....	19
Kuvio 9. Voima-puristus	21
Kuvio 10. Voima-taipumakäyriä	22
Kuvio 11. Hauraan materiaalin voima-aikakuvaaja.....	23
Kuvio 12. Sitkeän materiaalin voima-aikakuvaaja.....	23
Kuvio 13. Kipsaustelineen lateraalisäätö	31
Kuvio 14. Polvituen seinämäpaksuus ennen muutosta	35
Kuvio 15. Polvituen seinämäpaksuuden muutoksen välimatka	35
Kuvio 16. Polvituen ohuempi seinämäpaksuus.....	36
Kuvio 17. Polvituen muutettu seinämäpaksuuden muutoksen välimatka	36
Kuvio 18. Polvituen muutettu seinämäpaksuusarvo	37
Kuvio 19. Nilkkatukeen kohdistuva voima	40
Kuvio 20. Polvitukeen kohdistuva voima	41
Kuvio 21. Nilkkatuen kiinnityspinta.....	41
Kuvio 22. Polvituen kiinnityspinta	42
Kuvio 23. Nilkkatuen rasitus.....	42
Kuvio 24. Nilkkatuen siirtymä.....	43
Kuvio 25. Polvituen rasitus	44
Kuvio 26. Polvituen siirtymä.....	44
Kuvio 27. Nilkkatuen Draft Analysis -kuva	45
Kuvio 28. Muutettu lateraalisäätö	47
Kuvio 29. Muovikappale lukon ja rungon välissä	48
Kuvio 30. Lopullinen kipsausteline	57
Kuvio 31. Lopullinen nilkkatuki	59

Kuvio 32. Lopullinen polvituki	59
--------------------------------------	----

Taulukot

Taulukko 1. Osakiteisten ja amorfisten muovien tyypillisiä ominaisuuksia.....	13
Taulukko 2. Materiaalin vaatimusprofiili	50
Taulukko 3. Tukien ominaisuusprofiili vaatimusprofiilin pohjalta	53
Taulukko 4. Tukien ominaisuusprofiili numeroarvoilla	54
Taulukko 5. Materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko symboleilla.....	54
Taulukko 6. Materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko arvoilla	55
Taulukko 7. Materiaaliominaisuuksien painokertoimet	56
Taulukko 8. Materiaaliominaisuuksien vertailulukujen laskeminen.....	56
Taulukko 9. Materiaalivalinnan tulos.....	60

1 Asiakkaiden tarpeet tutkimustyön lähtökohtana

Satakunnan keskussairaalan professorin, ylilääkäri Pertti Aarnion mukaan Suomessa tehdään vuodessa noin 8 000 kappaletta alaraajakipsauksia. Lukumäärä sisältää lyhyet nilkkakipsaukset, joiden osuus kokonaisluvusta on 70–80 %. Kipsaukseen tarvitaan kaksi hoitohenkilöä. Toinen henkilöistä kannattelee kipsattavaa jalkaa kipsauksen ja kipsin kuivumisen ajan. Lasikuitukipsin kuivuminen kestää kipsauksen jälkeen puoli tuntia.

Työn toimeksiantajan Merivaara Oy:n tuotekehitysosasto oli aloittanut kipsaustelineen tuotekehitysprojektin vuonna 2010 ja tehnyt kipsaustelineestä ensimmäisen protoversion. Projektin tavoitteen oli helpottaa alaraajakipsausta. Asiakkaat olivat kokeneet alaraajakipsauksen hankalaksi ja keksineet, että kipsausteline helpottaisi kipsausta.

Kipsausteline ja siihen kiinnitettävät kertakäyttöiset nilkka- ja polvituet helpottavat kipsaustilannetta. Tukien avulla alaraaja on tuettuna ja oikeassa asennossa kipsauksen ajan. Potilaan kipsattava alaraajaa asetetaan kertakäyttötukien päälle ja kipsaus voidaan suorittaa nilkka- ja polvitukien päälle. Kertakäyttötuet jäävät kipsin sisään potilaan toipumisajaksi. Näistä ei ole haittaa potilaalle. Kipsaustelineen käyttö poistaa alaraajaa kannattelevan henkilön tarpeen. Alaraajakipsaus muuttuu tehokkaammaksi, kipsaajan työ helpottuu fyysisesti ja potilasturvallisuus lisääntyy.

Yritys keskeytti myöhemmin kipsaustelineen tuotekehitysprojektin. Tämä tutkimustyö aloitettiin siitä mihin kipsaustelineen tuotekehitysprojekti oli aikaisemmin jäänyt. Tässä tutkimustyössä toteutettiin kipsaustelineen ja siihen kiinnitettävien kertakäyttöisten nilkka- ja polvitukien suunnittelu loppuun ja kertakäyttötukiin tehtiin materiaalivalinta. Suunnittelu pohjautui asiakkailta saatuihin kommentteihin ja arvioihin, joiden perusteella kipsaustelinettä kehitettiin eteenpäin.

Työn toimeksiantaja Merivaara Oy on sairaalakalusteita tarjoava yritys, joka on perustettu vuonna 1901. Vuonna 2013 yrityksessä työskentelee noin 130 henkilöä neljässä eri maassa. Lahdessa sijaitsee yrityksen pääkonttori, tuotanto, tuotekehitys, myynti, markkinointi, huoltopalvelut ja vientitoiminto. Yrityksellä on tytäryhtiöt Ruotsissa ja Norjassa, myyntiorganisaatio Venäjällä ja jälleenmyyjiä eri puolella maailmaa. Toiminta on lähtenyt rauta- ja teräsrakenteisista kalusteista, josta on edetty nykypäivän huipputeknologisiin ohjausjärjestelmiin. Yrityksen tuotteiden ja ratkaisujen kautta yksityisten klinikoiden ja muidenkin terveydenhuollon palveluidentarjoajien potilasvirrat nopeutuvat, hoitotyöt helpottuvat sekä potilasmukavuus paranee. Toiminnan takana on aktiivinen tuotekehitys, joka painottuu asiakkaiden kanssa tehtyyn tiiviiseen yhteystyöhön. (Yritys 2013.)

2 Tuotekehityksen teoriaa

Tuotekehityksessä lähtökohtana ovat tuotteeseen halutut toiminnot. Tuotteen tulisi vastata siltä vaadittuja ominaisuuksia. Tuotteen tulisi toimia käyttöiän aikana halutussa ympäristössä mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti ja turvallisesti. Näin ollen on otettava huomioon niin materiaali kuin sen tuomat ominaisuudet yhdessä tuotesuunnittelun kanssa. Jotta tuote olisi kilpailukykyinen ja menestyvä, on tuotteen materiaalin pitkäaikaiskestävyys ja luotettavuus yleensä sen tärkeimmät ominaisuudet. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 248.)

Tuotekehitysprosessi voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on tuotekehitysprojektin käynnistäminen. Tämä on tärkeää yrityksen menestyksen kannalta, koska yrityksen menestyminen on riippuvainen oikeiden tuotekehitysprojektin aloittamisesta. Ennen tuotekehitysprojektin aloittamista tulee yrityksen olla selvillä uuden tuotteen kehittämiskustannuksista, markkinointinäkymistä, tuotteesta saatavista tuotoista ja työterveydellisistä sekä ympäristönsuojelullisista kysymyksistä. Ensimmäinen vaihe päättyy kehityspäätökseen, jossa tuotekehitysprojekti päätetään aloittaa. (Jokinen 2010, 14.)

Toinen vaihe on luonnosteluvaihe. Tässä vaiheessa tehtävä analysoidaan, jotta kaikki projektiin osallistuvat henkilöt tulisivat tietoiseksi tuotekehitysprojektista. Tuotteelle asetetaan vaatimukset ja tavoitteet. Lisäksi tuotteelle tehdään lopullinen vaatimuslista, jossa voi ilmetä sellaisia asioita, joita ei vielä ole tullut ensimmäisessä vaiheessa ilmi. Tämän jälkeen etsitään ratkaisumahdollisuuksia, jotka aukeavat työn tehtävän yleistämisellä eli irtaudutaan alkuperäisestä tehtävästä. Työn yleistämisessä tulevat ilmi tehtävän olennaiset ongelmat ja kokonaistoiminnot. Nämä kokonaistoiminnot jaotellaan osatoimintoihin, joille puolestaan etsitään ratkaisumahdollisuudet. Näiden osatoimintojen ja niiden ratkaisumahdollisuuksien kautta saadaan kokonaistoiminto ja sen ratkaisuperiaatteet haltuun. Valitusta ratkaisusta tehdään ratkaisuluonnos. (Jokinen 2010, 14–15.)

Kolmas vaihe, kehittäminen, aloitetaan valitun ratkaisun kokoonpanoluonnoksella, joka arvioidaan eri menetelmillä sen mukaan, kuinka merkittävä projekti on kyseessä yrityksen toiminnan kannalta. Näiden jälkeen tuotteelle asetetut vaatimukset konstruktion suhteen on täytetty, tuotteen kehittäminen voidaan päättää ja tässä vaiheessa tuotetta kutsutaan konstruktioehdotukseksi. Edellytyksenä on kuitenkin se, että tuote täyttää kaikki sille asetetut konstruktiovaatimukset. Jos näin ei ole, tuotteen kehitystyö aloitetaan alusta ja lähtökohdaksi valitaan uusi ratkaisuluonnos. (Jokinen 2010, 15.)

Tuotekehityksen viimeinen vaihe on viimeistely. Tässä vaiheessa konstruktion yksityiskohdat saavat lopullisen muotonsa, jotka ilmenevät tuotteen työpiirustuksissa, osaluetteloissa sekä käyttö- ja työohjeissa. Tämän jälkeen valmistetaan tuotteesta prototuote. Sillä voidaan testata tuotteen ominaisuuksia, jotta ne vastaisivat tuotteelle asetettuja tavoitteita. Jos prototuotetta ei kannata valmistaa sen kalleuden tai koon vuoksi, voidaan tuotteesta tehdä pienoismalli. Vaihtoehtoisesti prototuotteina voidaan valmistaa tuotteen riskialttimmat kohdat. Prototuotteen jälkeen voidaan tehdä vielä nollasarjan tuote, jonka avulla testataan tuotteelle suunniteltuja valmistusmenetelmiä. (Jokinen 2010, 17.)

3 Kipsausteline

3.1 Kipsaustapahtuma

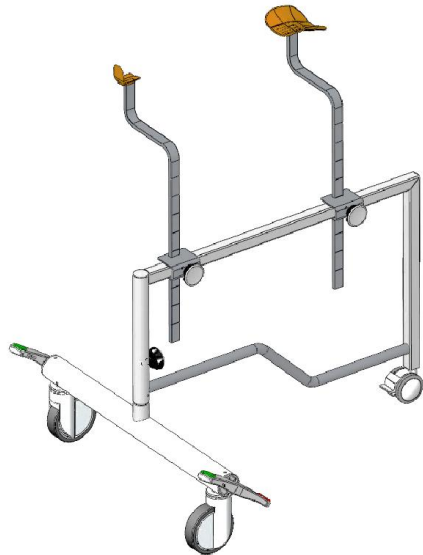
Kun alaraaja kipsataan, potilas makaa hoitopöydällä. Kipsattava jalka on kohollaan ja terve raaja lepää pöydän päällä. Kipsaustilanteessa avustava henkilö pitää kipsattavaa alaraajaa kohollaan. Avustaja tarkkailee toimenpiteen etenemistä ja asettaa kipsattavan alaraajan niin, että se luutuu parantumisen aikana oikeaan asentoon.

Avustavan henkilön kannatellessa kipsattavaa alaraajaa on riski, että raaja ei pysy paikoillaan. Tällöin on mahdollisuus, että kipsauksen aikana jalka onkin väärässä asennossa. Avustavan henkilön työ on moninaista. Hän myös muotoilee käsin kipsiä, jolloin hänen raajaa kannattelevat kätensä ovat muotoilemisen tiellä. Avustava henkilö joutuu kannattelemaan kipsattavaa alaraajaa myös kipsin kuivumisen ajan. Tässä on vaarana, että kipsi lasketaan kuivumaan alustalle liian varhain, jolloin kipsi on vielä pehmeää ja kipsi pääsee muotoutumaan eikä jalka pysy enää oikeassa asennossa kipsin sisällä.

3.2 Kipsausteline ennen tutkimusta

Kipsausteline (ks. kuvio 1) helpottaa alaraajakipsausta, koska alaraaja on tuettuna koko kipsaustapahtuman ajan ja raaja pysyy oikeassa asennossa. Kipsausteline on liikuteltavissa ja säädettävissä. Telineettä voidaan käyttää sekä vuodeosastolla että leikkaussalissa. Telineen tukiraudat voidaan irrottaa telineestä ja kiinnittää lukkoilla leikkaussalipöydän lisävarustekiskoon kiinni. Kipsaustelineen tukirautoihin kiinnitetään kertakäyttöiset muoviset tuet polvitaipeen ja kantapään alle. Kertakäyttötuet kiinnitetään tukirautoihin ennen kipsausta ja asiakas laskee jalkansa tukien päälle. Tukien avulla asiakkaan jalka asettuu oikeaan kohtaan, joten tukien muoto on tärkeää. Nilkkatuen tulee olla 90°:n kulmassa ja polvitaipeen alle tulevan polvituen 30°:n kulmassa. Näin jalka asettuu siihen asentoon, jossa sen luutuminen tapahtuu oikeassa asennossa. Kipsaus tapahtuu nilkka- ja polvitukien päälle, jolloin ne jäävät kipsin sisälle koko toipumisen ajaksi. Tämä asettaa tiettyjä ehtoja tukien materiaaleille. Polvi- ja nilkkatukien tulee olla helposti kiinnitettävissä tukirautoihin ja myös niistä irrottami-

sen tulee olla helppoa. Toisaalta kiinnityksien tulee olla samalla sellaiset, että ne pysyvät tukirautojen päällä koko kipsaustapahtuman ajan.



Kuvio 1. Kipsaustelineen protoversio yksi

(Kipsausteline 2010)

3.3 Koekipsauksen havainnot

Kipsaustelineen protoversion yhden toimivuutta testattiin tekemällä alustava kliininen tutkimus mahdollisimman normaalia kipsaustilannetta matkivalla tilanteella Satakunnan keskussairaalassa. Koekipsaustilanteita oli kolme, joista kaksi oli nilkkakipsausta ja yksi koko raajan kipsaus. Testauksessa oli paikalla ylilääkäri, lääkintävahtimestari, kaksi kipsauksen suorittavaa henkilöä kirurgian poliklinikalta, tutkimushoitaja ja kaksi Merivaaran tuotekehitysosaston henkilöä. Testauksen tulokset kirjattiin muistiin ja testaustilanne kuvattiin. Näiden käyttäjäkokemusten ja tuloksien kautta kipsaustelinettä alettiin kehittää eteenpäin.

Kipsaustelineen stabiliteetti oli riittävä. Telineen jarrut toimivat ja kipsausteline pysyi paikoillaan. Telineen poikittaistuki asettui hyvin pöydän alle eikä se ollut kipsauksen

tiellä. Telineen kolmas pieni pyörä pystyi asettumaan lähelle tutkimuspöytää eikä se-
kään ollut kipsaustilanteen tiellä. Alaraaja asettui luontevasti tukiin.

Teline jouduttiin asettamaan tutkimuspöydän nähden vinosti. Tästä asiakkaille syntyi
kehitysidea, että nilkkatuen tukirauta olisi säädettävissä myös lateraalisuunnassa.
Näin tuote soveltuisi paremmin erilaisiin käyttötilanteisiin, esimerkiksi kun pöydän
korkeus ja potilaiden alaraajamitta vaihtelee. Ensimmäisen protoversion nilkka- ja
polvituki eivät tukeneet tarpeeksi koekipsaustilanteessa. Polvituen kuppimaiset reu-
nasiivekkeet joustivat liikaa. Nilkka ei pysynyt 90°:n kulmassa, joka on tuotteen toi-
minnan kannalta ehdoton ehto. Nilkka pääsi myös liukumaan sivulle päin, jos se oli
rentona. Asiakas ei voinut pitää kipsattavaa alaraajaansa rentona vaan hänen piti
jännittää jalkaansa, jotta se pysyi tuissa. Ensimmäisen protoversion nilkka- ja polvitu-
ki eivät liioin pysyneet riittävän hyvin telineessä. Näin ollen asiakkaan ollessa rentona
saattaisi se irrottaa tuet telineestä.

Kipsausteline yhdessä kipsin sisälle jätettävien tukien kanssa ei poistanut toisen hen-
kilön tarvetta kipsaustilanteessa, kun asiakkaalle pujotetaan kipsattavaan alaraajaan
sideharsosukkaa, pehmustevanua tai kreppipaperia. Nykyään ei kuitenkaan yleensä
enää käytetä pehmustevanua eikä kreppipaperi vaan pelkästään sideharsosukkaa.
Asiakas pystyy kuitenkin alaraajansa lihaksilla pitämään jalkansa tuissa, mutta tällöin
tuotetta ei pysty käyttämään silloin, kun potilas on nukutettuna tai hänelle on annet-
tu selkäydinpuudutus. Telineen tulee kestää myös nestettä, koska kipsattaessa teli-
neen päälle tippuu nestettä.

3.4 Kipsaustelineen kertakäyttötukien materiaalinvalinta

Kipsaustelineen polvi- ja nilkkatuet ovat käyttötarkoitukseltaan ja tuotteiden omi-
naisvaatimuksiltaan samanlaiset. Näin ollen voitiin tehdä yksi materiaalivalinta, joka
soveltuu molempiin tuotteisiin. Tuotteiden materiaaliksi projektia aloittaessa oli pää-
tetty muovi, joten tutkimustyössä tutkittiin eri muovien soveltuvuutta.

Materiaalinvalinta on haastavaa, koska materiaalien määrä kasvaa koko ajan sekä
niiden ominaisuudet ja valmistusmenetelmät kehittyvät koko ajan. Samalla materiaa-

litekniikka kehittyä, materiaaleihin kohdistuva taso nousee ja taloudelliset seikat korostuvat yhdessä ympäristöystävällisyyden kanssa. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 248.)

Materiaalinvalinta voidaan mieltää lähes materiaalisuunnitteluksi. Valinnassa otetaan huomioon myös materiaalin käsittelytila, jotta materiaaliin saadaan halutut ominaisuudet. Tämä pohjautuu materiaalioppiin ja materiaalitekniikkaan yhdessä materiaalikustannustietojen kanssa. Materiaalinvalinnassa on erilaisia vaiheita. Ensiksi valitaan materiaalityhmät, jolloin pitää olla hyvä yleinen tietämys hyvin monesta eri materiaalista ja näiden ominaisuuksista. Tämän jälkeen tästä materiaalityhmästä valitaan materiaaleja. Lopuksi valitaan yksi materiaali, josta tiedetään materiaalina tarkkoja yksityiskohtaisia tietoja. Näihin tietoihin valinta sitten pohjautuu. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 248–249.)

Materiaalin käytöstä ja käyttöolosuhteista muodostuvat materiaaleille vaatimukset. Valinnassa näiden vaatimuksien ja materiaalin ominaisuuksien tulisi kohdata, jotta lopputulos olisi hyvä sekä kilpailukyky mahdollista. Tuotteeseen ei saisi syntyä käytössä materiaalivaurioita. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 249.)

4 Tuotemateriaalina muovi

Muovi on kemianteollisuuden valmistama tuote, joka on lopullisessa tilassa kiinteää suurimolekyylistä polymeeriä tai suurimmaksi osaksi polymeerin ainesesta. Polymeeri on luonnossa esiintyvää tai synteettistä suurimolekyylistä ainetta, joka koostuu pienistä, yksinkertaisista rakenneyksiköistä. Muoveja valmistaessa ainetta muovataan jossakin niiden käsittelyvaiheessa. Polymeerit eivät sovellu yleensä sellaisenaan muovien valmistukseen vaan niihin lisätään lisäaineita, joiden avulla aineen muovatavuutta ja tuotteiden fysikaalista ja kemiallista kestävyttä parannetaan. (Seppälä 1999, 1.)

4.1 Muovien luokittelu



Muovit voidaan luokitella ryhmiksi monella eri tavalla. Yksi ryhmittely perustuu kiderakenteen syntymiseen. Muoveja valmistettaessa aine ensiksi sulaa, minkä jälkeen se muuttuu kiinteäksi, kun se jäähtyy. (Järvinen 2008, 22.) Aineet ovat kiinteinä joko kiteisiä tai amorfisia. Kiteiset aineet ovat järjestäytyneet säännöllisesti joka suuntaan, jolloin identtisten atomien tai molekyylien välimatkat ovat aina samat. Kide on muodostunut tasaisista pinnoista niin, että pintojen väliset kulmat ovat samansuuruiset. Amorfisten aineiden voidaan olettaa olevan nesteitä, joten niillä on hyvin suuri viskositeetti. (Laitinen & Toivonen 2003, 139.) Muovin olomuodonmuutoksen aikana molekyyleistä voi muodostua kiderakenne. Välttämättä tätä muutosta ei tapahdu. Osakiteisten muovien molekyyleistä muodostuu kiderakenteita, kun taas amorfisilla muoveilla ei kiteytymistä tapahdu. (Järvinen 2008, 22–23.) Taulukossa 1 on listattu osakiteisiä ja amorfisia muoveja sekä niiden ominaisuuksia.

Taulukko 1. Osakiteisten ja amorfisten muovien tyypillisiä ominaisuuksia

(Järvinen 2008, 23)

	Osakiteiset muovit	Amorfiset muovit
Valtamuovit	PE, PP	PVC, PS, SB
Tekniset muovit	POM PBT, PA	ABS, PET-A, PMMA, PC
Erikoismuovit	PPS, PEI, PEEK	PSU, PES
Lasinkirkkaus	ei	mahdollinen
Sulamispiste	tarkka	pehmenee vähitellen
Kutistuma työssä	suuri (1–6 %)	pieni (alle 1 %)
Kutistuman laatu	epätasainen	tasainen
Kemikaalinkestävyys	hyvä	heikompi
Jännityssäröily	harvinainen	yleinen
Kulutuksenkestävyys	hyvä	heikompi
Lämpölaajeneminen	suuri	pienempi
Liukuominaisuudet	hyvät	huonommat
Viruminen	korkeampi	alhainen

Toisaalta muovit voidaan jaotella niiden muovattavuuden mukaan kesto- ja kerta-muoveihin. Kestomuovien molekyylit ovat pitkiä molekyyliketjuja (ks. kuvio 2). Näiden molekyyliketjujen välillä ei ole kemiallisia sidoksia. Kestomuovien uudelleenmuovattavuus on mahdollista molekyyliden välisten voimien heiketessä, kun materiaalia lämmitetään. Voimat vahvistuvat, kun materiaali jäähtyy. Muovaus tapahtuu paineen ja lämmön avulla, ja toimenpide voidaan toistaa monia kertoja. Esimerkiksi polyeteeni, polypropeeni ja polyamidi ovat kestopuoveja. (Seppälä 1999, 11.)

Käyttäytyminen	Yleisrakenne	Kuva
Termoplastinen (kestomuovit)	Joustavia lineaarisia ketjuja	
Termoseptinen (kertamuovit)	Jäykkä kolmi- ulotteinen verkko	
Elastomeeri (esim. kumit)	Lineaarisia ristisilloittuneita ketjuja	

Kuvio 2. Erilaisia polymeeriketjuja

(Polymeerit n.d.)

Kestomuovit voidaan edelleen jaotella eri ryhmiin niiden markkinoiden, hinnan ja suorituskyvyn perusteella. Valtamuovit ovat edullisia ja niitä käytetään paljon. Valtamuoveja kalliimpia ja vähemmän käytettyjä muoveja ovat tekniset muovit, jotka ovat yleisiä muoveja. Pienet markkinat ja kalleus kuvaavat erikoismuoveja. Näillä muoveilla on jokin erityinen ominaisuus, joten niiden käyttöympäristö on eksakti. Tekninen muovi saadaan erikoismuoviksi lisäämällä siihen täyteaine tai erikoiskopolymeeri, jolloin samalla muovin hinta ja käyttökohde muuttuvat erikoismuovien suuntaan. (Järvinen 2008, 22–23.) Teknisillä muoveilla on hyvä soveltuvuus, joten niitä käytetään erilaisissa rakenteissa. Yleisesti muovimateriaalien ominaisuudet ovat monipuolisemmat kuin muilla rakenneaineryhmillä. Esimerkiksi teknisiä muoveja käytetään hyvin moneen eri tarkoitukseen, kuten pienitiheyksisinä solumateriaaleina, kumikimmoisina elastomeereinä, sulatyöstettävänä kestomuoveina, jäykäksi verkoutettuina kertamuoveina, lujina tekstiili- ja vahvikekuituna sekä kestävinä liitos- ja pinnoiteaineina. (Seppälä 1999, 11–12.) Taulukossa 1 on muovilaadut jaoteltu tekniin sekä valta- ja erikoismuoveihin.

Kertamuovin perusraaka-aine on hartsi. Kertamuovin kovettumisreaktion kautta polymeeriketjut silloittuvat eli kytkeytyvät toisiinsa. Tästä syntyy verkkomainen rakenne, jota ei voi enää uudelleen muovata (ks. kuvio 2). Kertamuoveja ovat esimerkiksi tyydyttämättömät polyesterit, epoksit ja fenolit. Kesto- ja kertamuovin välimuoto on kumi (ks. kuvio 2). (Seppälä 1999, 11–12.)

Materiaalin rakenteen muoto, lineaarinen tai haaroittunut, ei määrää sen käyttäytymistä tai jaottelua kesto- tai kertamuoveihin. Molekyylien hyvin suuri koko ja jäykkyys sekä korkea kiteisyysaste saavat aineen käyttäytymään enemmän kertamuovin kuin keston muovin tavalla, vaikka aine olisi termoplastisten polymeerien kaltainen rakenne, kuten polytetrafluorieteeni. (Seppälä 1999, 12.)

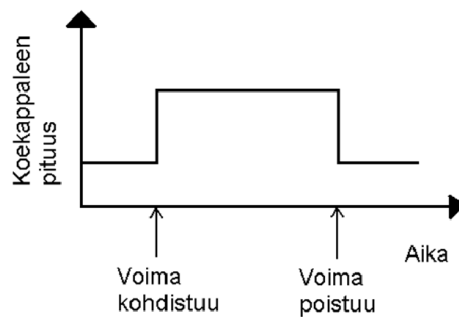
4.2 Muovien termiset ominaisuudet

Muovin hajoamislämpötila ilmoittaa, milloin sen molekyylien runko-osat katkeavat tai eri ryhmät irtaantuvat. Aina ei ole mahdollista ilmoittaa tätä tarkkaa arvoa. Kiteisillä polymeereillä sulamislämpötila (T_m) ilmoittaa, milloin kristalliitit, osittain säännöllisesti järjestäytyneet tilavuusmuodostelmat, hajoavat eli sulavat ilman molekyylien katkeamista. (Seppälä 1999, 39, 49, 51.) Lasiutumislämpötila (T_g) on lämpötila, jossa amorfinen muovi muuttuu nestemäisestä aineesta kumimaiseen tilaan ja lopulta kovaksi ja jäykäksi lasimaiseksi aineeksi. (Seppälä 2005, 52).

Pehmenemis- ja taipumislämpötilojen avulla määritetään muovien lujuusominaisuuksien heikkenemistä ja aineen pehmenemistä käyttölämpötilan noustessa. Lämpötilat ovat riippuvaisia mittausmenetelmän olosuhteista. Haurastumislämpötila määritetään alentamalla huoneenlämpötilaa ja mittaamalla tutkittavan muovin venyvyys, iskunkestävyys tai taipuminen. Määrittelyssä voidaan käyttää lovettuja koekappaleita. Tällöin koekappaleen keskikohdan sivulla on leikattu 4 mm syvä uurre. Käyttölämpötila ilmoittaa joko lämpötila-alueen, jossa tuotetta käytetään, tai ylimmän käyttölämpötilan. Kun muovien käyttöympäristön lämpötila nousee, ne pehmenevät ja niiden mekaaniset lujuusominaisuudet heikkenevät. Tällöin myös ympäristötekijöiden, kuten hapen, otsonin, UV-säteilyn ja kosteuden, vaikutukset lisääntyvät. Lämpötilan laskiessa muovit kovettuvat ja haurastuvat. (Seppälä 1999, 51–54.)

4.3 Mekaanisten rasituksien aiheuttamat muutokset muoviin

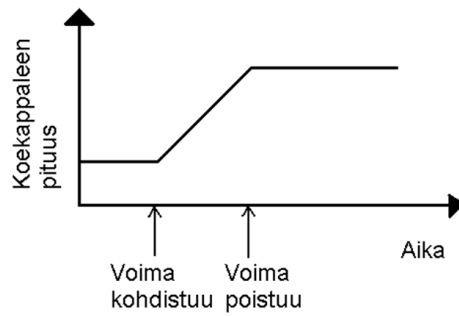
Kuormittaessa ainetta tapahtuu siinä aina muodonmuutoksia. Muoveilla ja erityisesti kestumuoveilla nämä mekaanisen rasituksen aiheuttamat muutokset ovat huomattavammat verrattuna muihin materiaaleihin. Muovien mekaaniset ominaisuudet ilmenevät neljänä eri molekyylien liikkeiden perusmekanismina. Hooken kimmoisuus on palautuva muodonmuutos (ks. kuvio 3), joka on kestoaltaan nopea. Tapahtuman aikana atomien väliset sidokset pitenevät ja valenssikulmat, atomien avaruudellinen ryhmittyminen, oikenevat. (Seppälä 2005, 66–67.)



Kuvio 3. Hooken kimmoisuus

(Polymeerit 2013)

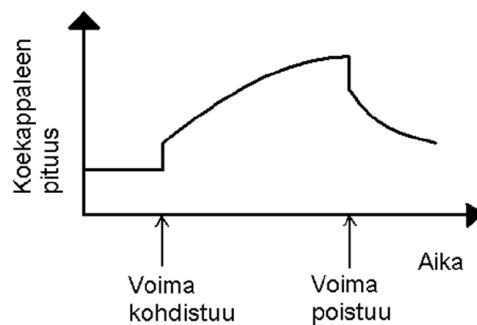
Toinen muodonmuutos on viskoosinen juoksu. Tämä on palautumaton muutos, joka ilmenee kuviosta 4. Muodonmuutoksen aikana molekyylit liukuvat toistensa ohitse. (Seppälä 2005, 67.)



Kuvio 4. Viskoosinen juoksu

(Polymeerit 2013)

Kolmas muodonmuutos on viskoelastisuus. Tapahtuma on ajasta riippuvainen. Muodonmuutos ja sen jälkeinen palautuminen on sidoksissa kuluvaan aikaan. Tätä kuvaa kuvio 5. (Seppälä 2005, 68.)



Kuvio 5. Viskoelastisuus

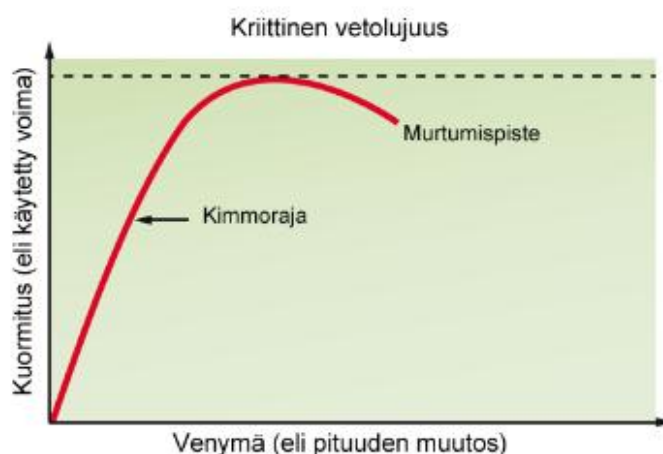
(Polymeerit 2013)

Neljäs muodonmuutos on kumimainen kimmoisuus. Muodonmuutoksessa molekyylisegmenteillä on liikkumisvapaus, jota rajoittaa silloittunut rakenne. Tällöin molekyylisegmentit pääsevät liikkumaan vain paikallisesti. (Seppälä 2005, 68.)

Jännitys ja venymä

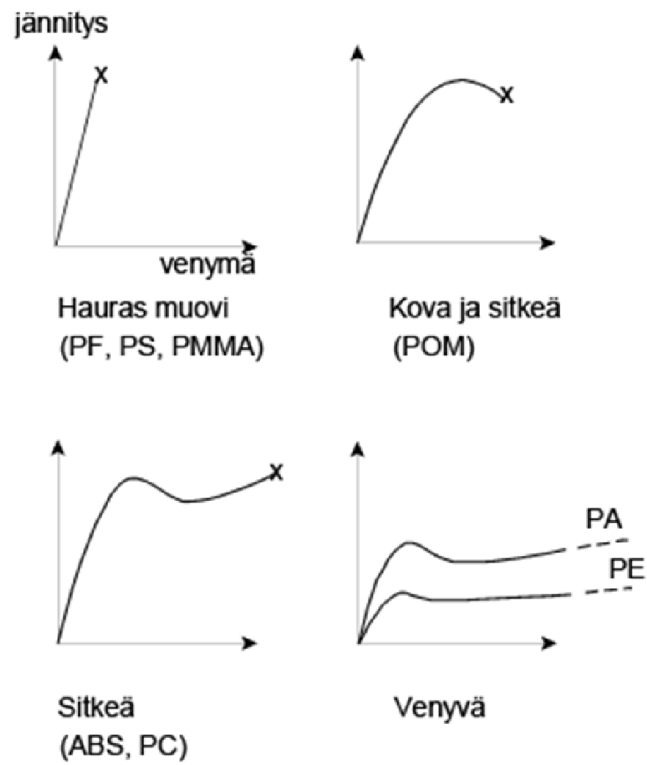
Lujuusopillisesti tärkeimmät materiaalin ominaisuudet ovat jännitys, venymä ja materiaalin kyky kestää kuormitusta murtumatta. Vetolujuuskokeen avulla saadaan selville tutkittavan materiaalin nimellisjännityksen ja venymän välinen yhteys. (Outinen & Salmi 2004, 34, 37.) Vetolujuus määritetään kappaleelle niin, että kappaletta venytetään aksiaalisesti vakionopeudella ja käytetty voima rekisteröidään. Tallennetuista venymän ja kuormitusten arvioista syntyy kuvion 6 mukainen käyrä, jonka muoto on riippuvainen muovin ominaisuuksista (ks. kuvio 7). Lämpötila vaikuttaa myös saadun käyrän muotoon (ks. kuvio 8). (Seppälä 1999, 58, 61.)

Jännitys-venymäkäyrä on alussa muuttujien suhteen suoraan verrannollinen (ks. kuvio 6). Tällä alueella tutkittava materiaali on alueella, milloin muodonmuutokset palautuvat lähtötilanteeseen, jos jännitys poistetaan. Materiaali käyttäytyy kyseisellä alueella kimmoisasti. Jännityksen ylittäessä kimmorajan jää materiaaliin pysyviä muodonmuutoksia. (Outinen & Salmi 2004, 35.) Käyrän lakipisteessä sijaitsee materiaalin myötö. Eri maissa on erilaiset standardit koekappaleiden muodoissa ja venytysnopeuksissa, joten näin ollen eri maiden välillä ei voida verrata suoraan saatuja lujuusarvoja toisiinsa. (Seppälä 1999, 59.)



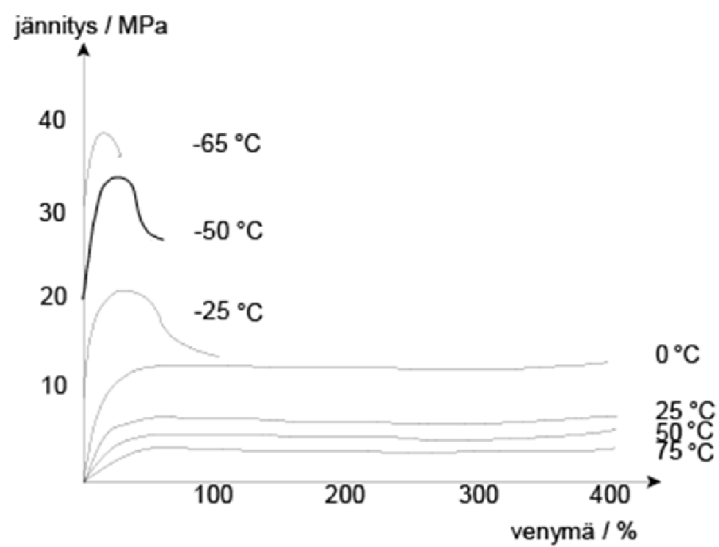
Kuvio 6. Vetolujuus

(Mekaaniset ominaisuudet 2013)



Kuvio 7. Jännitys-venymäkäyriä

(Polymeerit 2013)



Kuvio 8. Lämpötilan vaikutus muovin mekaanisiin ominaisuuksiin

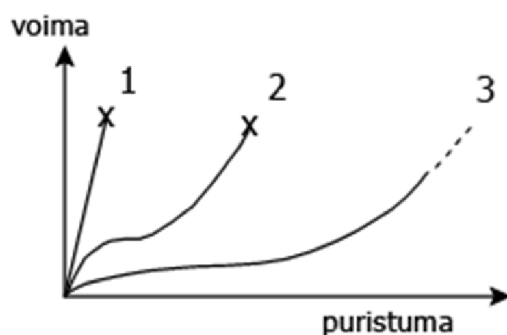
(Polymeerit 2013)

Viruminen

Viruminen on ilmiö, jossa tutkittavan kappaleen venymä kasvaa, vaikka koekappaleeseen kohdistettu jännitys pidettäisiin vakiona (Outinen & Salmi 2004, 48). Muovit ovat alttiita jo huonelämpötilassakin virumiselle, kun niitä rasitetaan vetämällä, puristamalla tai taivuttamalla. Virumisen alussa materiaalissa tapahtuu nopeaa muodonmuutosta, joka johtuu Hooken kimmoisuudesta. Tämän jälkeen tapahtuu hitaampi muutos, viskoelastisuus ja viskoosinen juoksu. Tuotetta voidaan kuormittaa niin, että se murtuu tai kuorma poistetaan ennen kuin materiaali murtuu. Materiaalin pysyessä ehjänä voi se palautua takaisin alkuperäiseen muotoonsa tai kuormituksen ollessa suuri ja kuormitusajan pitkä, jää materiaaliin pysyvä muodonmuutos. Tämä pysyvä muodonmuutos johtuu viskoosisesta juoksusta. Kertamuovien muutokset ennen murtumista ovat vähäiset, alle 1 % tai muutama prosentti, kun taas kesto-
muovien viruminen on paljon suurempaan. (Seppälä 1999, 62–63.)

Puristuslujuus

Tutkittavan kappaleen leikkauspintaan päin kohdistettu jännitys on puristusjännitys (Salmi 2003, 148). Puristuslujuus on aineen murtumiskohdassa olevan puristusjännityksen arvo. Voiman aiheuttama puristuma on riippuvainen muovin laadusta. Tätä kuvaa kuvio 9. Siinä oleva käyrä 1 on kertamuovi, käyrä 2 on polymetyylimetakrylaatti ja 3 käyrä voi olla kova PVC, polykarbonaatti tai polyeteeni. Kuviosta käy ilmi, että kertamuovit murtuvat nopeasti pienen muodonmuutoksen jälkeen. Kestomuovit käyttäytyvät taas muodonmuutoksessa niin, että ne puristuvat litteiksi levyiksi, joka on mahdollista niiden molekyylirakenteen vuoksi. Tällöin molekyylit liukuvat toistensa ohitse kappaleen litistytessä. Tietyn puristuman kohdalla voidaan laskea jännitysarvot jakamalla voiman arvo koekappaleen alkuperäisen poikkileikkauspinta-alalla. Useimmilla muoveilla on jännitys-venymäkäyrän muoto voima-puristumakäyrän muotoinen, jolloin käyrissä ilmenee aineen samanlainen myötöraja kuvaava kohta. Muoviominaisuuksia ilmoitettaessa voidaan ilmoittaa voimakkaasti kokoonpuristuvien muovien kohdalla niin puristuslujuus kuin jännitys myötörajallakin tai pelkästään jännitys myötörajalla. (Seppälä 1999, 63.)

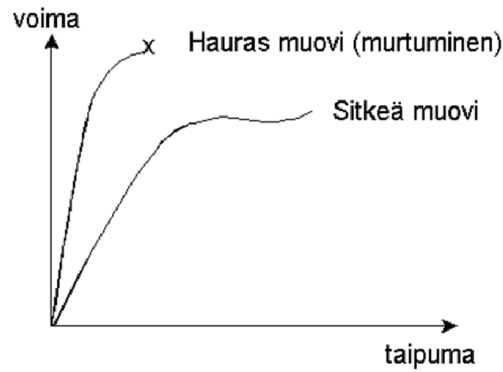


Kuvio 9. Voima-puristus

(Polymeerit 2013)

Taivutuslujuus

Taivutuslujuus on jännityksen arvo, jolla materiaali murtuu, kun sitä taivutetaan. Taivutuslujuusarvo saadaan kuormittamalla keskeltä koესauvaa koესauvan ollessa tuettuna molemmista päistä. Voiman arvot ja koekappaleen taipumat ovat arvoja, joiden perusteella saadaan voima-taipumakäyrä (ks. kuvio 10). Saaduista arvoista voidaan laskea myös jännitys-taipumakäyrä. Muovit, jotka ovat hauraita, taipuvat vain vähän. Tätä kuvaa kuviossa 10 oleva jyrkästi nouseva hauras muovi- käyrä. Joustavan muovin materiaali on sellainen, että se ei murru lainkaan. Näin ollen kuvio 10 toisen käyrän muoto on juuri sellainen, että siinä ei ilmene murtumista vaan materiaali joustaa siihen kohdistuessa taivutusta. Tällaisille materiaaleille saatetaan ilmoittaa rajataivutusjännitys, joka on materiaalin taipuma tietyn taipuman kohdalla. Tämä on taivutuslujuusarvon lisäksi toinen tapa ilmoittaa materiaalin kestävyys. Standarditapauksessa taipuma on koekappaleen paksuus kerrottuna 1,5. (Seppälä 1999, 64.)

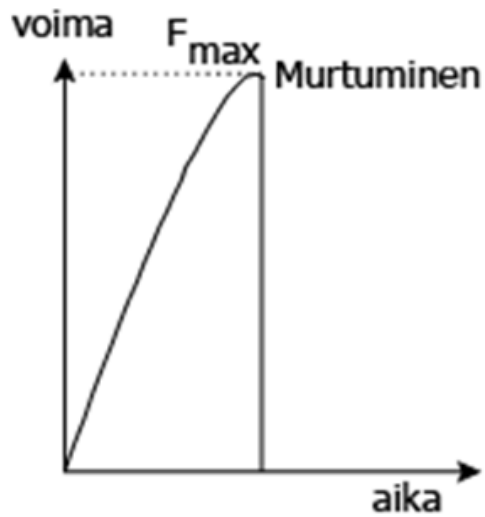


Kuvio 10. Voima-taipumakäyriä

(Polymeerit 2013)

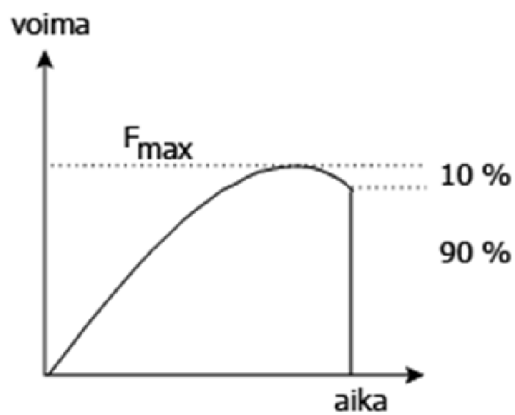
Iskulujuus

Iskulujuus kuvaa materiaalin kykyä ottaa vastaan iskuja eli lyhyitä kuormituksia. Arvo on katkaisutyöhön kuluva työ, joka jaetaan koekappaleen läpileikkauksen pinta-alalla. Koekappaleen ollessa lovettu on poikkileikkauspinta-ala lovetun kohdan pinta-ala. Tällaisilla koekappaleilla useimmiten iskulujuusarvot ovat huomattavasti pienempiä kuin loveamattomilla koesauvoilla. Lujan ja hauraan materiaalin murtuminen vaatii suuren voiman, mutta siihen kuluva aika on lyhyt (ks. kuvio 11). Sitkeä materiaali taas myötää ennen murtumista (ks. kuvio 12). Kuviot 11 ja 12 ovat hyvin vertailukelpoiset, koska niiden pinta-alat ovat samansuuruiset, jolloin tutkittaviin tuotteisiin kohdistuvat voimat ovat olleet samansuuruiset keskenään. (Seppälä 1999, 65, 66, 68.)



Kuvio 11. Hauraan materiaalin voima-aikakuvaaja

(Polymeerit 2013)



Kuvio 12. Sitkeän materiaalin voima-aikakuvaaja

(Polymeerit 2013)

Jännityssäröily

Jännityssäröily voi ilmetä joissain muoveissa pelkästään mekaanisen rasituksen seurauksena. Metalleissa jännityssäröily ilmenee kappaleen joutuessa samanaikaisesti mekaanisen ja kemiallisen rasituksen alaisuuteen. Tämän jännityskorroosion seura-

uksena metallikappaleen pintaan muodostuu säröjä. Jännityssäröilyn ilmetessä muoveissa jonkin ulkoisen tekijän nopeuttamana sanotaan säröilyä ympäristötekijöiden aiheuttamaksi jännityssäröilyksi. Tällaisia ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi useat nesteet, kaasut, tahnat ja geelit. Muovin ollessa normaalitilassa, ei jännityksessä, saattavat ne kestää täydellisesti edellä mainittuja aineita. Muovikappaleeseen saattaa syntyä jännittynyt tila ulkoisesta voimasta tai se voi johtua valmistuksesta. Säröilyä edesauttavia aineita ovat esimerkiksi silikoniöljy, orgaaniset esterit, alkoholit, ke-tonit, orgaaniset hapot ja pinta-aktiiviset aineet kuten pesuaineita sisältävä vesi sekä emäksiset vesiliuokset. (Seppälä 1999, 73.)

4.4 Muita muovien ominaisuuksia

Muovit ovat herkempiä lämpölaajentumaan kuin esimerkiksi puu tai metalli. Lämpölaajeneminen on riippuvainen muovin kimmokertoimesta niin, että kimmokertoimen kasvaessa vähenee lämpölaajeneminen. Pituuden lämpötilakerroin α ilmaisee pituuden muutoksen ja γ tilavuuden kasvun. Kertoimet ovat suoraan verrannollisia lämpötilaan. Lisäksi lämmönjohtavuus on muoveilla yleisesti huono. Kaasumaiset aineet kuten ilma ja hiilidioksidi ovat tekijöitä, jotka pienentävät ennestään solumuovien lämmönjohtokykyä. Täyteaineet ja kuidut taas kasvattavat muovien lämmönjohtokykyä. (Seppälä 1999, 55, 57.)

Kaasu tai höyry pystyy läpäisemään muovikalvon tai -levyn. Tätä kutsutaan permeabiliteetiksi. Ensiksi läpitunkeutuva aine liukenee kalvon pintaan, jonka jälkeen se diffundoituu kalvon lävitse ja haihtuu kalvon siitä pinnasta, jossa kaasun väkevyys on pienempi. Kaasut eivät kulje kristalliittien läpi kiteisissä muoveissa vaan amorfisten alueiden kautta. Näin ollen HD-polyeteenin kaasunläpäisyarvot ovat pienempiä kuin LD-polyeteenin. Aineiden välillä on kiteisyyserot niin, että HD-polyeteenin kiteisyys on 80 %, kun taas LD-polyeteenin 50–60 %. (Seppälä 2005, 91–92, 94.)

Muoveja valmistavat yritykset eivät valmista tuotteistaan lopputuotteita vaan ne muovataan toisen portaan muoviteollisuuden kautta lopullisiksi tuotteiksi. Materiaalin virtaus- eli reologiset ominaisuudet määritetään eri lämpötiloissa ja eri leikkausnopeuksissa. Sulamassavirta ilmaisee tutkittavan aineen moolimassan suuruusluo-

kan, muovauksen helppouden ja tuotteen lujuuden. Arvot saadaan mittaamalla tutkittavan aineen juoksevuus aineen ollessa sulaa. Tapahtuma tehdään sulaindeksilaitteella. Sulamassavirta-arvon ollessa pieni on sula jäykkää ja polymeerimolekyylit suuria. Materiaalin viskositeetti saadaan kapillaarireometrialla. Tässä mitataan sulan virtausta kapillaarissa painehäviön funktiona. Dynaamisella reometrilla saadaan myös aineen viskositeetti selville sekä elastisuus ja vaimenemisominaisuudet. Viskositeettilukua käytetään silloin, jos aine ei kestä sulamassavirran määrittämiseen tarvittavia lämpötiloja. Tämä viskositeettiarvo on riippuvainen aineen väkevyydestä liuottimissa, molekyylikoosta ja molekyylien muodosta. K-arvo määrittelee aineen moolimassan, mekaanisen lujuuden ja lämmönkestävyyden. Näiden arvojen ollessa suuria ovat edelliset ominaisuudet sitä suurempia ja voidaan sanoa, että samalla nousee aineen muovattavuuden haasteellisuus. (Seppälä 2005, 94–100.)

Muovit eivät johda sähköä. Tämän vuoksi niitä käytetään eristeinä, matalien ja korkeiden jännitteiden yhteydessä. Näin ollen muoveilla on korkea ominaisvastus, joka on seurausta siitä, että niillä ei ole vapaita elektroneja tai muita varauksenkantajia. Muovit saadaan johtamaan sähkö sekoittamalla niihin hiilimustaa tai metallipartikkeleita tai metallonnilla tai maalaamalla sen pinta sähköä johtavalla maalilla. Yksi keino on seostaa mukaan johdepolymeerejä. Näin ollen muovit saadaan johtamaan sähköä lisäämällä niihin ominaisuuksia, mitä niillä ei ole luonnostaan. (Seppälä 2005, 100–102.)

4.5 Muovien lisäaineet

Muovien ominaisuuksia voidaan muuttaa haluttuun muotoon erilaisilla lisäaineilla. Nämä lisäaineet ryhmitellään niiden käyttötarkoitusten mukaisesti eri ryhmiin. Lisäaineilla muovien valmistettavuutta voidaan helpottaa, niiden käyttöikää kasvattaa ja saada erilaisia haluttuja ominaisuuksia. Stabilisaattorit ovat vanhenemisenestoaineita, joilla saadaan estettyä monomeerien ennenaikainen polymeroituminen. (Seppälä 2005, 118.) Polymerointi on tiettyjen hiilivetyjen tärkeä reaktiotyyppi. Reaktiossa runsas määrä pieniä molekyylejä eli monomeerejä yhtyy suureksi molekyyliksi eli polymeeriksi. Näin ollen tällä monomeerien polymerointireaktion kautta saadaan polymeerejä. (Hakkarainen 2001, 316, 341.) Toinen stabilisaattorin kautta saatava omi-

naisuus on polymeerien hajoamisen estäminen korkeassa lämpötilassa, kun muovია valmistetaan. Kolmas ominaisuus on estää ja vähentää muovissa lämmön, UV-säteilyn, hapen ja otsonin vaikutukset. (Seppälä 2005, 118.)

Pehmittimien lisäyksellä saadaan koviin ja hauraisiin polymeereihin venyvyttä ja muovattavuutta. Nämä ovat nestemäisiä aineita ja ne liukenevat lopulta polymeeriin sen jälkeen, kun ne ovat liuottaneet polymeeriä. Pehmittimien määrä lopullisen muovin painosta on 20–60 %. Liukuaineiden käytöllä saadaan parannettua muovimassan muovattavuutta, kun tuotetta valmistetaan ja estetään muovimassan tarttuminen muovauskoneen pintoihin. Tuotteen ulkonäköä voidaan myös parantaa tällä lisäaineella. Liukuaineiden käytön suosio on kymmenesosaprosentista viiteen prosenttiin. (Seppälä 2005, 119–120.)

Antistaattisia aineita käytetään, kun halutaan poistaa korkean ominaisvastuksen ja pintavastuksen omaavien muovien pintaan pölyn tarttuminen. Aineiden käyttö tapahtuu pyyhkimällä kappaleen pinta kyseisellä aineella, jolloin aine imee kosteuden ympäröivästä ilmasta ja tekee tuotteen pinnasta sähköä johtavan. Aine voidaan myös sekoittaa tuotteen massaan. Tällöin aineeseen sekoitetut ionittomat pinta-aktiiviset aineet kulkeutuvat kappaleen pintaan, jolloin tuotteen pintaan syntyy sähköä johtava kerros. Tämä on kestävämpi tapa saada tuotteeseen sähköä johtava kerros. Sekoitettavana aineena voidaan käyttää myös metallijauhetta tai grafiittia, jonka kautta saadaan varaukset tasoittumaan kappaleen sisäisen johtokyvyn ansiosta ja samalla sähkövarausten muodostuminen estyy. (Seppälä 2005, 121.)

Palonestoaineet pienentävät materiaalin syttymisherkkyyttä ja hidastavat palon leviämistä sen alkuvaiheessa. Paloa voidaan myös ohjata aineiden kautta niin, että palosta seuraisi mahdollisimman vähän kaasuja, jotka ovat palamiskykyisiä ja toisaalta pyritään saamaan mahdollisimman paljon kiinteää palamisjätettä eli hiiltymää. Palonestoaineiden kautta palamisessa voi syntyä myös esimerkiksi palamatonta kaasua, vettä. Tämän seurauksena liekin syttyminen kestää kauemman aikaa ja myös sen lämpötila on alhaisempi. Palonestoaineiden seurauksen kuitenkin palamisen seurauksena voi syntyä määrällisesti savua enemmän ja haitallisia kaasuyhdistelmiä, joita ei välttämättä synny silloin kuin tuote palaa eikä estoainetta ole käytetty. Jotta pa-

lonestoaineet vaikuttaisivat, tulee niitä laittaa tuotteisiin noin 10 %. Määrän ollessa suuri vaikuttaa se jo materiaalin muihin ominaisuuksiin ja sen seurauksena materiaali voi heikentyä. (Seppälä 2005, 121–122.)

Muoveja voidaan värjätä joko aineeseen liukenevilla orgaanisilla väriaineilla tai epäorgaanisilla tai orgaanisilla pigmenteillä. Polymeerisulaan tasaisesti liukenevat orgaaniset väriaineet mahdollistavat erinomaisen värjäyksen. Tämä tapahtuu pienellä värimäärällä. Orgaanisia pigmenttejä käytetään eri kohteissa, mutta niilläkin saadaan voimakas värjäys pienellä värimäärällä. Epäorgaanisten pigmenttien määrä värjäyksessä on oltava suurempi, koska niiden värjäysteho on huonompi kuin orgaanisilla tai epäorgaanisilla pigmenteillä. (Seppälä 2005, 122–123.)

Täyteaineet voivat lisätä muovin muodon-, lämmön- ja kemiallista kestävyyttä, parantaa mekaanisia ominaisuuksia esimerkiksi kovuutta, puristus-, taivutus- ja vetolujuutta, alentaa lämpölaajenemista, vähentää palavuutta, estää UV-säteilyn vaikutusta ja vähentää kutistumista tuotteen valmistuksessa. Täyteaineiden käytöllä voidaan myös laskea tuotteen hintaan. Täyteaine voi olla orgaanista tai epäorgaanista ainetta, joka koostuu erillisistä hiukkasista. (Seppälä 2005, 123.)

Lujitekuidut vahvistavat muoveja. Enimmäkseen vahvistukseen käytetään epäorgaanisia kuituja. Esimerkkinä voidaan ottaa lasikuidut, joita on lasin koostumuksen mukaisesti erilaisia eri tarkoituksiin. Ryhmään kuuluu eri hintatasoisia kuituja. Hiilikuidut ovat hyvä esimerkki siitä, että kuidut ovat lujempia ja jäykempiä kuin mikään muu samanpainoinen rakenneaine. Näiden yhdistelmä hartsin kanssa mahdollistaa jopa kahdeksankertaisen vahvuuden ja jäykkyyden verrattuna samanpainoiseen teräskappaleeseen. Lujiteaineen koon ollessa nanoluokkaa saadaan nanokomponenttiin yhdistettyä hyvä lujuus yhdessä materiaalin hyvään työstettävyyteen. Samalla lujiteainepitoisuus on hyvin alhainen. (Seppälä 2005, 124, 127.)

5 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvalu eli ruiskupuristus on keskeinen muovintyöstömenetelmä. Termoplastisen muovin valmistuksessa käytetään ruiskuvalua eikä tälle valmistusmenetelmälle ole kilpailijaa. Ruiskuvalu on hyvä vaihtoehto, kun tuotemäärä on tuhat tai enemmän. Tosin tuotegeometrian tulee olla yksinkertainen, jotta muotin valmistaminen on kannattavaa. Ruiskuvaluprosessin kustannukset jakaantuvat osiin materiaalikustannus, työkustannus/osa, kate ja laatukustannus. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 13, 275, 277.)

Koska ruiskuvalu soveltuu hyvin massatuotantoon, ovat valmistussarjat suuria. Valmistuskappaleen koko ei ole rajattu mihinkään tiettyyn kokoon vaan se voi olla muutamana milligramman kokoinen tuote tai yli ihmismitan kokoinen kappale kokonaisuutena. Ruiskuvalun etuna ovat työstön nopeus, helppous ja edullisuus. Menetelmä vaatii kuitenkin hyvää muovien ja valmistustekniikan ymmärrystä. (Seppälä 2005, 275.)

Ruiskuvaluprosessi alkaa ensiksi massan annostelemisella niin, että ruuvi työntää massaa ruuvikärjen edessä, kun ruuvi kiertyy taaksepäin. Massa liikkuu sylinterin etuosaan ja kiertävä ruuvi sekoittaa massan. Materiaali myös homogenisoituu ja plastisoituu. Tämä plastisoituminen tapahtuu, kun materiaali sulaa lämmön ja ruuvien pyörimisestä aiheutuvan kitkan vaikutuksesta. Sekoittumista tehostetaan ruuvien taaksepäin estolla, joka toteutetaan vastapaineen avulla. (Seppälä 2005, 277.)

Annostuksen ja plastisoinnin jälkeen tapahtuu ruiskutus. Tämän aikana ruuvi siirtyy nopeasti eteenpäin, jolloin ruuskukärjen edessä oleva massa työnnyttymään suuttimen lävitse muottiin suurella paineella ja nopeudella. Jotta massa pystyy siirtymään muottiin, on paine oltava suuri, koska ruiskutuskanavat ja muottionkalot aiheuttavat massaan kohdistuvan vastuksen. Loppuvaiheessa paine pienennetään jälkipaineeksi, jolla korvataan tilavuus, mikä syntyy materiaalin kutistumisesta, kun muotti jäähtyy. Jos paine olisi liian suuri, materiaali ylipakkautuisi muottiin ja tuotteeseen syntyisi jännityksiä tai tuote vääntyisi. (Seppälä 2005, 277.)

Ruiskupuristuksessa muotti ottaa vastaan sulan massan ja muovisula jähmettyy muottipesän malliseksi jäähdytyksen aikana. Jäähtyminen alkaa heti, kun massasula osuu muotin kylmiin seinämiin. Jäähdytysaika ei voi olla lyhyt aika, ettei puristeeseen syntyisi jännitteitä massan jähmettymisen ja materiaalin uudelleen järjestäytymisen seurauksena. Muottipuoliskot avataan jäähtymisen jälkeen ja tuote on valmis. Tuote voidaan työntää muottien sisältä esimerkiksi ulostyöntötappien avulla, jonka jälkeen muotti suljetaan. Tämän jälkeen ruiskuvalukierros voidaan aloittaa alusta. (Seppälä 2005, 278, 280.) Ruiskuvaluprosessin eri vaiheet vaikuttavat omalla osuudellaan valutuotteiden lopputulokseen (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 47).

Ruiskuvalumenetelmän erityistapauksia

Suuria ja keveitä kappaleita pystytään valmistamaan ruiskuvalumenetelmällä, kun käytetään hyväksi vaahdotusaineita. Tämän kautta tuotteen rakenne on rakennevaahtoa, jolloin tuotteen sisäosa on huokoista ainetta ja pinta on kuitenkin kova ja tasainen. Tämä eroaa normaalista ruiskuvalusta vain vaahdotusaineen käytöllä. Vaahdotusaineen avulla muotti täyttyy. (Seppälä 2005, 285–288.)

Monikomponenttiruiskuvalu mahdollistaa yhteen tuotteeseen laitettavan kahden tai useamman muovin ruiskuttamisen. Tämä voidaan toteuttaa eri muoviaiaineiden ruiskuttamisella samaan aikaan tai vuorotellen. Näin tuote voi olla monivärinen tai tuotteen eri kohtiin saadaan erilaisia ominaisuuksia. Monikomponenttiruiskuvalulla valmistettu tuote voi olla esimerkiksi kierrätysmateriaalia sisältä ja tuotteen uloin kerros sähköä johtavaa ainetta. (Seppälä 2005, 286.)

Tuotteen seinämäpaksuuden vaihdellessa, voidaan käyttää kaasuvusteista ruiskuvalua. Tuotteesta tehdään ontto niin, että ensiksi muotti täytetään osittain muovisulalla, jonka jälkeen syötetty kaasu työntää muovisulan muotin reunoille. Näin tuotteen materiaalikustannukset ja tuotteen paino vähentyvät. Tällä menetelmällä seinämäpaksuuden hallitseminen on vaikeaa. Kaasun tilalla voidaan käyttää myös tietyissä tapauksissa vettä. (Seppälä 2005, 287.)

6 Kipsauksen helpottaminen

Tutkimustyön tarkoituksena oli helpottaa alaraajakipsausta. Kipsausteline mahdollistaa alaraajan tuennan kipsauksen aikana ja raajan oikean asennon kipsauksen ja kipsin kuivumisen ajan. Kipsaustelineeseen kiinnitetään kertakäyttöiset nilkka- ja polvituet, joiden päälle potilaan jalka asetetaan. Kipsaus suoritetaan tukien päälle ja tuet jätetään kipsin sisään.

Kehitysidea oli lähtöisin asiakkailta, jotka olivat kokeneet tuotteen tarpeelliseksi. Kipsaustelineen myötä parantuu kipsauksen työtehokkuus, resurssien käyttö ja työn laatu. Kipsausteline mahdollistaa sen, että kipsauksen pystyy tekemään yksi henkilö, kun kipsattavan henkilön alaraaja lepää telineen tuissa eikä hoitajan käden varassa niin kuin aikaisemmin on ollut tapana. Näin ollen kipsaustyö on tehokkaampaa ja siihen kohdistetut resurssit voidaan käyttää taloudellisemmin. Samalla hoitavan henkilön työskentely helpottuu fyysisesti ja työergonomia kohentuu. Hoitotoimenpide on myös luotettavampi, kun alaraaja lepää tukien päällä ja raaja pysyy paikoillaan koko kipsaustapahtuman ajan.

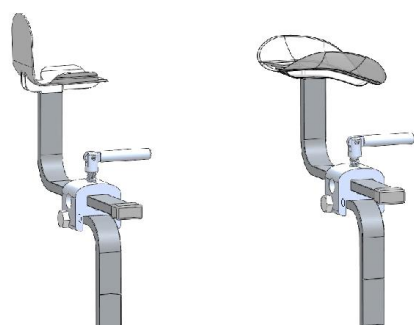
Merivaara Oy aloitti kipsaustelineen tuotekehitysprojektin vuonna 2010 ja teki kipsaustelineestä ensimmäisen protoversion. Tuotekehitysprojekti päätettiin myöhemmin keskeyttää. Projektin eteen oli tehty monia eri töitä (ks. liite 1). Tässä tutkimustyössä jatkettiin kipsaustelineen tuotekehitysprojektia eteenpäin. Työssä toteutettiin kipsaustelineen ja siihen kiinnitettävien kertakäyttöisten nilkka- ja polvitukien suunnittelu loppuun ja kertakäyttötukiin tehtiin materiaalivalinta. Tuotemuutosideat saatiin asiakkailta ja kehitetyt tuotteet testattiin asiakastestauksilla, jolloin kipsaustelineen tuotekehitys oli asiakaslähtöistä tuotesuunnittelua.

7 Kipsaustelineen tuotekehitys ja materiaalivalintaprosessi

7.1 Kipsaustelineen tuotekehitysmuutokset

7.1.1 Kipsaustelineen tuotemuutokset

Kipsausteline muutettiin myös lateraalisuunnassa säädettäväksi. Tämä toteutettiin kipsaustelineen tukiraudan muutoksella (ks. kuvio 13). Tukirauta katkaistiin ja siihen liitettiin Merivaaran tuotevalikoimassa jo oleva lisälaitelukko. Kipsaustelineen tukiraudat ovat lisävarustekiskoa, jolloin se on yhteensopiva yrityksen lukkojen kanssa. Lukko antaa mahdollisuuden säätää molempia lukon lävitse kulkevia tukirautoja. Tässä yhteydessä molempien rautojen säätäminen ei ole tarpeen. Lukon liikkuminen estetettiin laittamalla toinen kierretapin kohta kuusioruuvilla kiinni. Lukko on kiinni toisessa tukiraudassa samassa kohdassa koko ajan ja sen sisällä kulkeva toisen tukiraudan etäisyyttä on mahdollista muuttaa kierretappia löystyttämällä ja lattarautaa liikuttamalla haluttuun kohtaan. Säätomahdollisuus on rajattu 150 mm:iin. Arvo saatiin koekipsauksessa olleelta ylläääriltä. Ennen kuusioruuviin päätymistä oli myös muita toteutusvaihtoehtoja. Yksi vaihtoehto oli rautaisen tukiraudan ja alumiinilukon kiinni hitsaaminen. Tämä olisi voitu tehdä TIG-juottohitsauksella, joka soveltuu eripariliitokselle (Taimisto 2011, 7). Ruuvi oli vaihtoehtoista halvin ja kätevin toteuttaa, joten tähän ratkaisuun päädyttiin. Vaakasuunnassa olevien tukirautojen tippumisen estämiseksi raudan päihin laitettiin tulpat. Samoja tulppia käytettiin pystysuunnassa olevien rautojen alapäässä, jotta tuotetta käytettäessä tukirautojen kulmat eivät vahingoita asiakasta tai potilasta.



Kuvio 13. Kipsaustelineen lateraalisäätö

Polvituen kiinnityksen parantamiseksi syvennettiin kiinnityskohtaa 3 mm, jonka seurauksena kasvatettiin myös rivojen korkeutta, jotta kiinnityskohdan ja rivojen välinen korkeusero olisi pienempi kuin 5 mm. Tämä siksi, että kipsattaessa polvituki on kiinnitelineessä, jolloin sen ympärille kierrettävä side ei mene tukikohdan ylitse. Kipsin paksuus on noin 5 mm, jolloin tukikohta jäisi lopullisen kipsisiteen ulkopuolella. Näin ei haluttu. Tuen tukevamman kiinnityksen mahdollistamiseksi muutettiin polvituen kiinnityspinnan ja kiinnityskolon seinämät kohtisuoraksi. Näin polvituen koko kiinnityspinta-ala lepää rautaisen tukilaatan kiinnityskohdan päällä.

Nilkkatuen alaa suurennettiin halutun verran. Tuen pituuden mittaa lisättiin 75 % ja leveyttä 50 %. Tuen malli pidettiin samannäköisenä, jolloin tuotteen ulkonäkö pysyi samana koon vain kasvaessa. Nilkkatuen kiinnityskohtaa syvennettiin 3 mm arvon verran, jotta tuki pysyisi tukevammin telineessä sekä sen käyttö olisi vakaampaa. Tuen kiinnityskohta pidettiin samassa kohtaa, koska ensimmäinen pikamallinnusosa oli mallinnettu aikaisempien tutkimuksien mukaisesti, jossa oli tutkittu, missä kohtaa ihmisen kantaluu sijaitsee henkilön koon vaihdellessa. Näin ollen tuen tuki haluttiin pidettävän tutkitun tiedon mukaisessa kohdassa. Nilkkatuen pituuden lisääminen siirtää kuitenkin kappaleen painopisteen eri kohtaan. Aikaisemmassa pikamallinnusosassa kantaluu ja mallinnuksen painopiste sijaitsivat samassa kohdassa. Tämä tuen tukikohdan sijainti testattiin seuraavassa pikamallinnusten testauksessa. Tuen alareuna saattaisi lähteä nousemaan, jos kantaluu pääsee painamaan nilkkatukea alaspäin. Pituuden lisäämisellä ei välttämättä ole mitään käytännön merkitystä. Kipsin paksuuden ollessa noin 5 mm lisättiin kaksi ripaa tuen alapuolelle, jotta tukikiinnityksen reuna ei jäisi näkyviin kipsin ulkopuolelle. Tässä kohtaa tukien suunnittelussa oltiin yhteydessä tuotteiden mahdolliseen valmistajaan, yritykseen Pdat. Nilkka- ja polvitukien mallinnukset lähetettiin yrityksessä työskentelevälle henkilölle ja kysyttiin tuotteiden valmistettavuutta. Oltiin Merivaaraan yhteydessä, mutta tarkkoja tietoja he eivät kuitenkaan antaneet ennen tarjouspyynnön saamista.

Molempien tukirautojen ollessa kipsaustelineessä kiinni heiluvat tukiraudat pitkitäissuunnassa eli pöydän sivureunan suuntaisesti. Tukien heilunta poistettiin pyöristämällä kipsaustelineen ylös-alas- säätölukkojen reikien kulmat, jolloin tukiraudat kiinnittyivät vakaammin. Näin saatiin kipsaustelineen tukirautojen stabiliteetti pa-

remmaksi. Lukot oli tehty tähän tuotteeseen erikseen. Näin ollen lukkojen reiät oli mahdollista muuttaa niin, että lukkojen reikiin tehdään jo valmistuksessa pyöristetyt kulmat. Toinen vaihtoehto olisi muuttaa lukon reiän yksi kulma viistetyksi. Tämä vaihtoehto takaisi pidempiaikaisen tukevamman kiinnityksen, koska tällöin tukirautojen vääntäminen ei ala pyöristämään entisestään kulmia eikä synnytä rautojen väliin välyksiä.

Lukon muuttaminen oli huomio, jota käyttäjät eivät tulleet aikaisemmalla tuotetestauksella havainneeksi. Käyttäjä ei kuitenkaan havaitse kaikkia puutteita, koska arviointi tapahtuu hetkessä, eikä käyttäjä mieti, mitä tuotteelle tulee jatkossa tapahtumaan. Tämän miettiminen on suunnittelijan tehtävä. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon myös tuotteen käytössä kuluvat osat ja näin olleen tässäkin yhteydessä lukko oli hyvä muuttaa, vaikka asiakas ei sitä osannut vaatia. Toisaalta asiakas saattaa osata vaatia sitä vasta silloin, jos kilpaileva yritys tuo markkinoille samanlaisen tuotteen, jossa on juuri tämä ominaisuus.

7.1.2 Tuotemuutoksiin johtavat tekijät

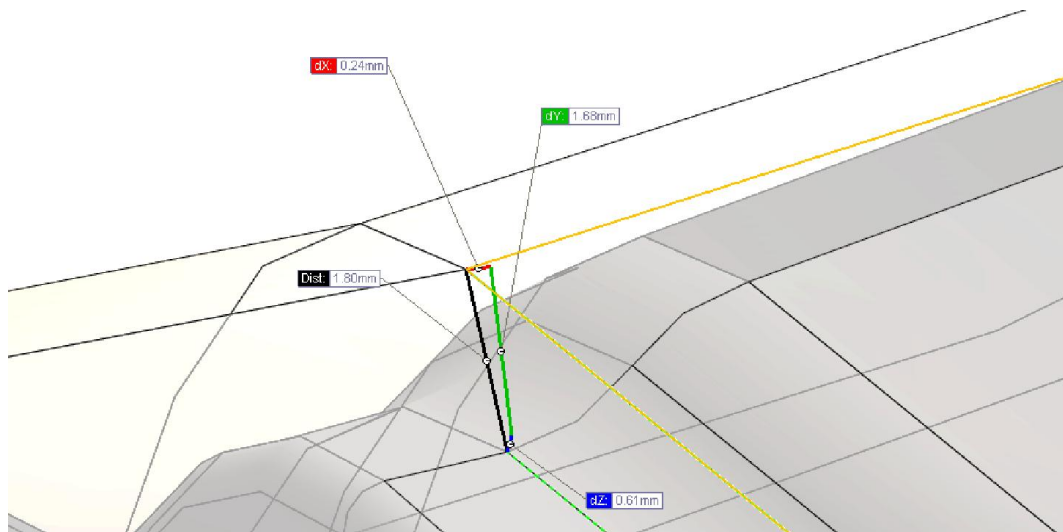
Ruiskuvalulla toteutettava muovituotteen valmistuksessa pitää ottaa huomioon valmistustavan toteutuksen vuoksi sulavirtaus. Ensimmäinen muuttuva ominaisuus on anisotrooppinen kutistuma. Tällöin tuote kutistuu eri suuntiin yleensä epämääräisen arvon verran. Ilmiöön vaikuttavat seuraavat asiat: tuote jäähtyy muotissa epätasaisesti, jolloin etu- ja takamuotin välillä on lämpötilaero ja kappale jäähtyy eritahtia eri kohdassa tuotetta, kappaleen lämpölaajentuminen on eri suuntiin eri verran, muovimassan orientaatio eli molekyyliketjujen suuntautuminen virtauksen mukaan on sularintaman etenemissuunnassa, kappaleen geometria ja etäisyys syöttöportista sekä kappaleen seinämäpaksuuden vaihtelut. Näiden seurauksena kappale voi vääntyä, kun se jäähtyy tai kappaleeseen tulee sisäisiä jännityksiä, jotka voivat pahimmassa tapauksessa rikkoa kappaleen. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 57, 289.)

Seinämäpaksuuden vaihtelu

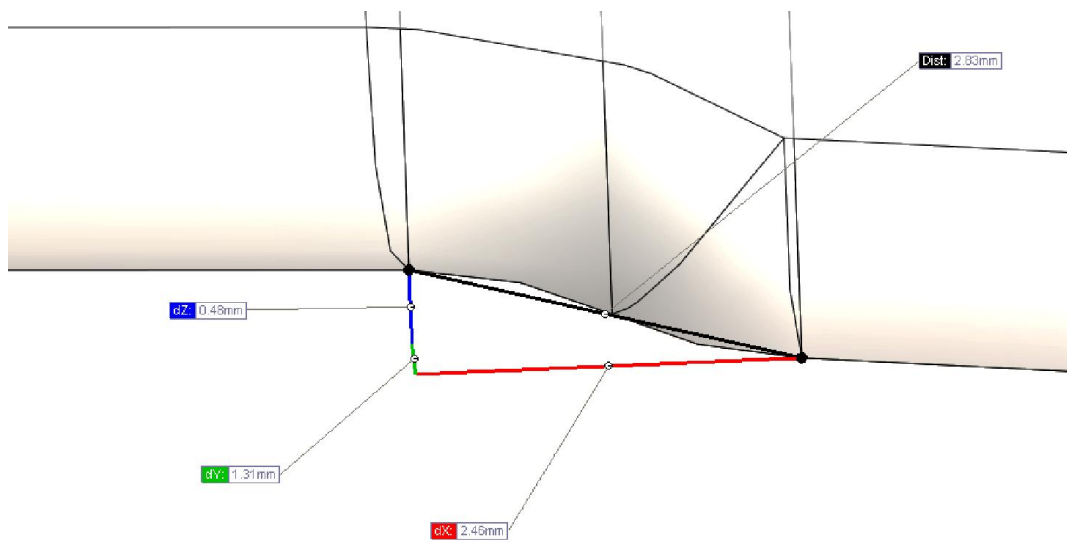
Kappaleen suunnittelussa pitää ottaa huomioon seinämäpaksuuksien vaihtelu. Liian suuri seinämäpaksuuksien vaihtelu kappaleessa saa tuotteen vääntymään. Tämä voidaan estää mitoittamalla tuote niin, että sen seinämäpaksuusmuutos on toteutettu vähimmäismäärällä seinämäpaksuus arvo kerrottuna viidellä niin, että seinämäpaksuus muuttuu alkuperäisestä arvosta puoleen tai sitä pienempään arvoon. Tässäkin pitää ottaa huomioon syöttöportin valinta. Ideaalitapaus olisi, että tuotteen seinämäpaksuus olisi samansuuruinen koko tuotteessa, mutta näin ei aina voi olla. Kappaleen ollessa symmetrinen jakotason suhteen vähenee kappaleen vääntymisriski. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 290.)

Niin polvi- kuin nilkkatukikin ovat epäsymmetrisiä jakotason suhteen. Näin ollen molempien kappaleiden vääntyminen vinokulmaisiksi on mahdollista, kun sulamassavirta jäähtyy epätasaisesti kappaleen poikkipinta-alaa nähden keernapuolen ollessa kuumempi. Kappaleeseen syntyy joko sisäisiä jännityksiä, jos materiaali on jäykkää, jolloin käytön aikana kappale voi rikkoontua tai materiaalin joustessa siitä tulee vino, kun kappaleen sulamassa jäähtyy. Tukien materiaali ei voi olla jämäkää, koska molempien kappaleiden sivusiivekkeiden tulee joustaa, jolloin on todennäköistä, että kappaleesta tulee paremminkin vino kuin tuotteeseen syntyisi sisäisiä jännityksiä. Kappaleen vinoutta estetään muuttamalla kappaleen muotoa niin, että seinämäpaksuus ei muutu liian jyrkästi. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 290.)

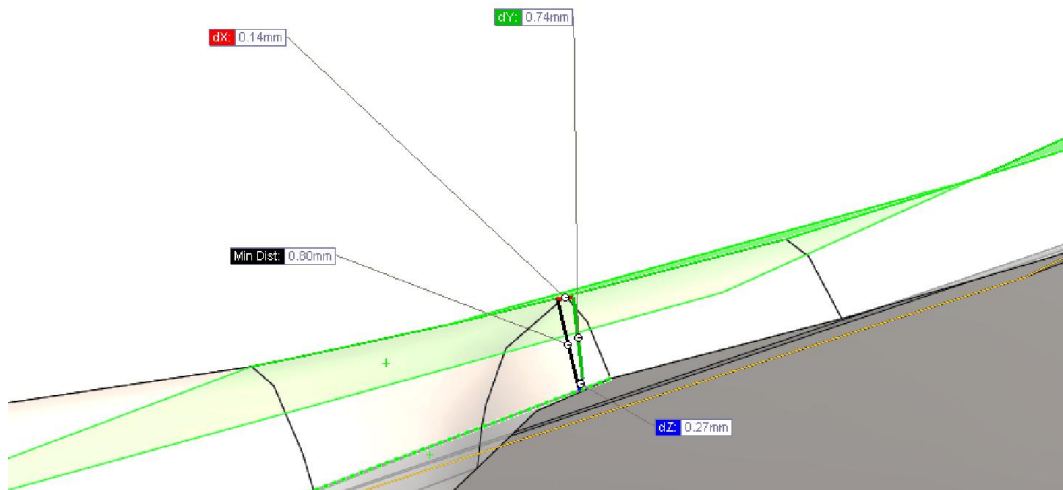
Polvituen seinämäpaksuus oli ensiksi $s_1 = 1,8$ mm (ks. kuvio 14) ja se muuttui matkalla 2,46 mm (ks. kuvio 15) arvoon $s_2 = 0,8$ mm (ks. kuvio 16). Ohjeistuksen mukaan muutost matka pitäisi olla $5 \times s_1$ eli 9 mm. Kappaleessa matka oli 2,46 mm eli 6,54 mm liian lyhyt matka. Ohuempi seinämäpaksuus pitäisi olla ohjeistuksen mukaan $s_2 > 0,5 \times s_1$ eli s_2 pitäisi olla suurempi kuin 0,9 mm. Arvo oli kuitenkin 0,1 mm liian pieni.



Kuvio 14. Polvituen seinämäpaksuus ennen muutosta

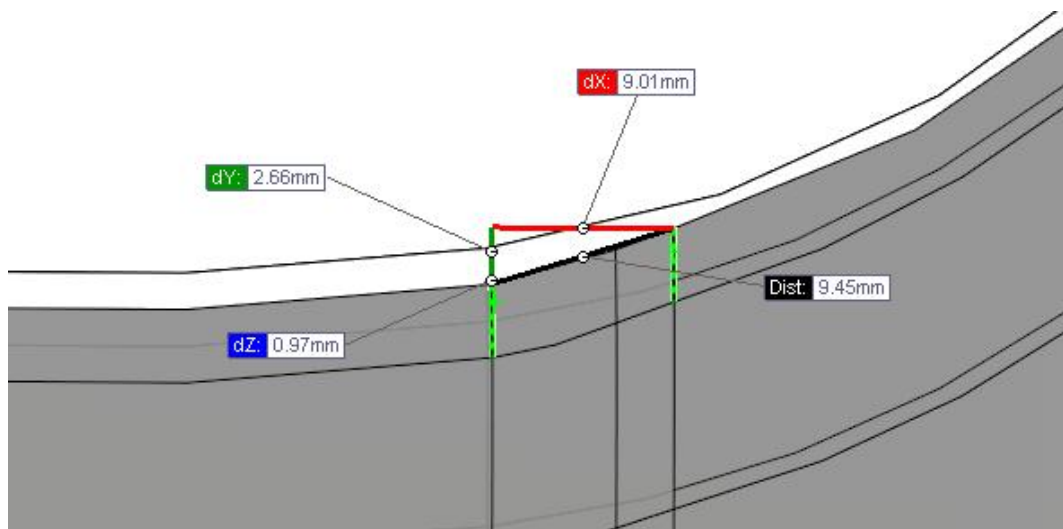


Kuvio 15. Polvituen seinämäpaksuuden muutoksen välimatka

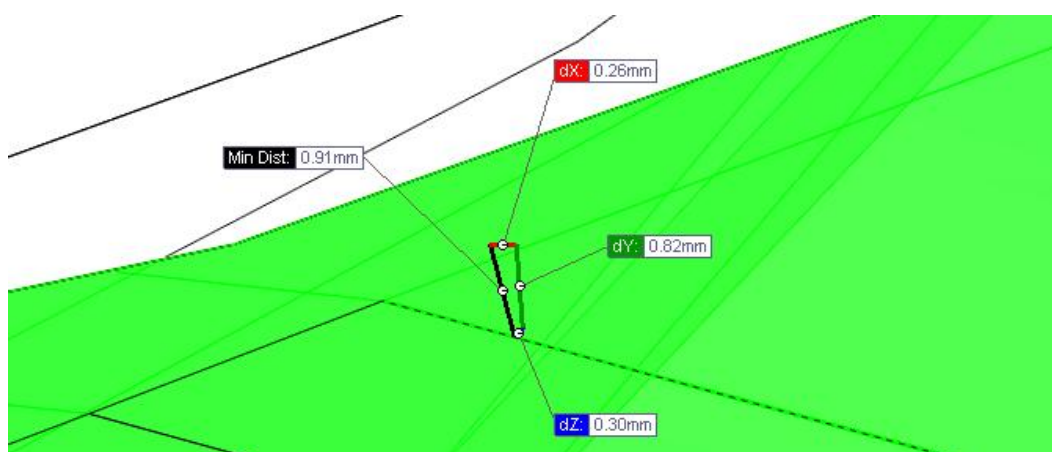


Kuvio 16. Polvituen ohuempi seinämäpaksuus

Polvituen kappaleen vääntymisen estämiseksi muutettiin kappaleen seinämäpaksuusmuutosmatka arvoon 9,01 mm (ks. kuvio 17). Seinämäpaksuus $s_1 = 1,8$ mm pidettiin samana, mutta arvo s_2 muutettiin arvoon 0,91 mm (ks. kuvio 18).



Kuvio 17. Polvituen muutettu seinämäpaksuuden muutoksen välimatka



Kuvio 18. Polvituen muutettu seinämäpaksuusarvo

Tehtiin muutokset myös nilkkatukeen. Nilkkatuen toinen seinämäpaksuusarvo pidettiin samana, mutta toinen seinämäpaksuusarvo muutettiin, jotta kappale ei vääntyisi tuotteen valmistuksessa. Nilkkatuen muotoa muutettiin ohjeistuksen mukaan niin, että seinämäpaksuusmuutosmatkaksi tuli yli viisi kertaa muuttuvan seinämäpaksuusarvon suuruinen.

Jäykkyyden lisääminen

Muoviosan jäykkyyttä voidaan lisätä suunnittelemalla tuotteeseen ripoja, ei kasvatamalla materiaalin seinämäpaksuutta. Seinämäpaksuutta kasvattamalla kappaleen jäähtymisaika muodostuisi liian pitkäksi. Seinämäpaksuus kasvaa eksponentiaalisesti jäähtymisaikaa nähden. Rivat tulisi suunnitella muotin aukeamissuuntaisesti. Vaikka poikittaisetkin rivat ovat mahdolliset, niiden toteutus on vaikeampaa. Kappaleen muodolla saadaan myös tuotteeseen jäykkyyttä. Tällainen muoto on kaarimuoto, joka on myös helppo toteuttaa muotin kannalta. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 308–309.)

Molemmissa tuissa oli käytetty ripoja jäykkyyden aikaansaamiseksi. Ripojen materiaali- paksuus saisi olla korkeintaan puolet kappaleen seinämäpaksuudesta, jotta rivan toiselle puolelle ei syntyisi imuja. Nilkkatuen seinämäpaksuus rivan kohdalla oli 2 mm ja rivan paksuus 1,29 mm. Polvituen seinämäpaksuus rivan kohdalla oli 1,8 mm ja ri-

van seinämäpaksuus oli 2,45 mm. Nilkkatuen arvo oli hyvin lähellä sääntöä. Polvituen muotoilussa ei sääntö päde. Imujen tuleminen kappaleen toiselle puolelle ei tässä kohtaan ole haitaksi, joten tuote pidettiin tältä osin tämännäköisenä. Imujen estämiseksi on myös muunlaisia keinoja kuin seinämäpaksuuden määrittäminen. Näitä ovat esimerkiksi rivan vastakkaiselle puolelle tehtävä ura, uritus tai etsaus. Ripojen päästöt olivat molemmissa tuissa 1° , kun sen tulisi mielellään olla $1,5^\circ$ tai vähintään $0,5^\circ$. Näin ollen arvo oli kuitenkin sellainen, ettei sitä tarvinnut muuttaa. Molemmissa tuissa kiinnitys kipsaustelineeseen toteutettiin rivalla, joka oli umpinainen. Tässä keerna joutuu kokonaan muovimassan ympäröimäksi, jolloin se pyrkii kuumenemaan ja saattaa väsyä poikki. Rivan korkeus ei ollut niin suuri, joten tämän ei pitäisi tulla ongelmaksi. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 309–310.)

Molempien tukien kiinnityskohtien pitkittäissuuntaisen seinämän jäykkyyden kasvatamiseksi lisättiin viisi ripaa jokaiselle pitkälle seinämälle. Molemmat tuet joutuvat samanlaisen rasituksen alaiseksi, kun voimien suunnat ja niiden luonne ovat samankaltaiset. Tästä johtuen molempien tukien rivoitukset tehtiin samalla tavalla. Voimien suuruudet ovat kuitenkin eriarvoiset, mitä otettiin huomioon ripojen toimivuuden testauksessa, simuloinnissa. Tämän kautta testattiin tuotteen kiinnityskohdan seinämän kestävyys, kun sitä oli vahvistettu rivoituksella. Polvituen jäykkyyttä lisäävien ripojen, jotka ovat tuen kiinnityskohdan molemmin puolin, etäisyyttä kasvatettiin. Tämä tehtiin, jotta poikittaisrivat mahtuivat pitkittäisripojen väliin.

Muita huomiota

Ruiskuvaluvalmistuksessa tulee ottaa huomioon kappaleeseen tuleva yhtymäsauma, joka on muotissa kahden sularintaman risteyskohta. Tässä kohtaa kappaleen lujuus on yleensä muuta kohtaa heikompi. Kummassakaan tuessa ei ollut sellaista kiinnityskohtaa, kuten ruuvitornia tai snap-liitosta, jossa yhtymäsaumat ovat kriittisimpiä. Yhtymäsaumat näkyvät myös tuotteen pinnassa, jolloin ne voivat häiritä esteettisesti. Yhtymäsauman lujuusarvot ovat myös materiaalikohtaisia. Materiaali – ja seinämäpaksuusarvon, syöttöpisteen eli kohdan, josta muottiin johdetaan muovimateriaalia sekä niiden määrän valinnalla suunnittelija saa halutun lujuuden tuotteen kuhunkin kohtaan. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 291–293.)

Ulostyönnön aikana tuote poistetaan muotista. Ulostyönnön onnistumisessa pitää ottaa monia asioita huomioon, kuten kappaleen päästökulmat, pinnankarheudet, ulkonäkövaatimukset, yksityiskohtien, kuten ripojen ja reikien sijainti ja lukumäärä, jakotason sijainti sekä kappaleet, joissa ei sallita ulostyöntöjälkiä, kuten linseissä. Ulostyönnön helpottamiseksi on monia keinoja. Tällaisia ohjeita ovat: keernapuolelle ei laitettaisi uria, etenkin poikittaisuria, kappaleen päästöjen ollessa pienet tulee keerna olla sileäpintainen, käytettäisiin ulostyöntölistoja, jos kappaleessa on syviä ja suuria osia, syvät rivat ja holkit vaikeuttavat ulostyöntöä, vältettäisiin syviä ja suljettuja alueita sekä syviä ristikkäisripoja sekä otettaisiin huomioon, että muottikutistuman ollessa suuri tulee kappaleen päästöt olla suuremmat verrattuna siihen, että muottikutistuma olisi pieni. Muovimateriaalin kostutus vaikuttaa myös ulostyöntöön. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 295, 297–298.)

Jakotaso otetaan huomioon, kun tuotetta suunnitellaan. Tämä taso on se, mistä muotti aukeaa ja yleensä ruiskuvalettu muovi jää kiinni keernan puoleiselle osalle. Jakotaso toimii tiivistuspintana, kun muovimassa virtaa muottiin. Muotin ollessa hyvin tehty on myös jakotason pinta syntyneessä tuotteessa hyvälaatuinen eikä sitä jouduta jälkeempaan enää siistimään jälkityönä. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 298.)

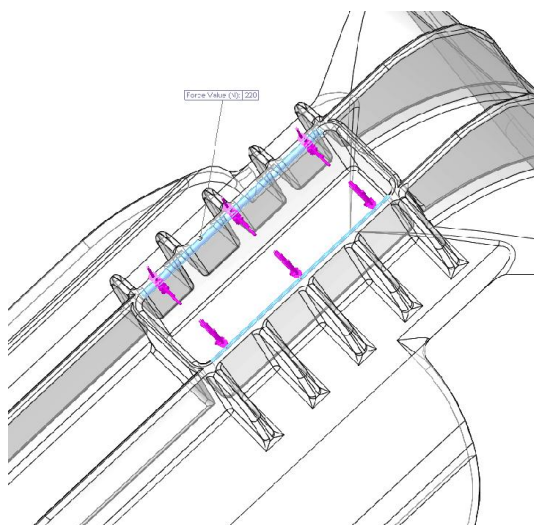
7.1.3 Kestävyytestaus, SolidWorks Simulation

Molemmat tuet simuloitiin SolidWorks-suunnitteluohjelmalla niin, että kappaleeseen laitettiin maksimivoima kappaleen siihen kohtaan, mistä kohtaa se joutuu suurimpaan rasitukseen. Tukiin kohdistuvat voimien suuruudet määritettiin leikkauspöytästandardin EN 60601-2-46 mukaisesti. Tämän mukaan henkilön massa on 135 kg, säären massa 10 kg ja reiden massa 15 kg. Kappaleisiin kohdistuviin voimiin lisättiin kertoimet. Säärestä johtuva voima ajateltiin olevan 440 N ja reiden 660 N.

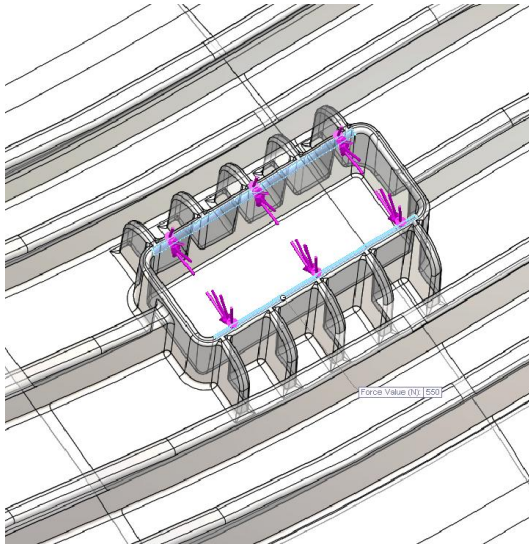
Potilaan käyttäessä nilkkatukea kohdistuu kappaleeseen henkilön säärestä aiheutuva voima niin nilkkatukeen kuin polvitukeenkin, jolloin sen voidaan ajatella puolittuvan molempiin tukiin saman verran. Näin ollen nilkkatukeen kohdistuu 220 N voima. Polvituki ottaa vastaan henkilön säären voimasta toisen puolen eli 220 N sekä reiden massasta aiheutuvasta voimasta puolet, kun tällekin voimalle tulee kaksi tukipistettä.

Nämä ovat polvituen tukipiste ja reiden toinen lonkkapäätty, joka lepää tutkimus- tai leikkauspöydällä tilanteesta riippuen. Näiden mukaan polvitukeen kohdistuu 220 N ja 330 N yhteisvoima eli 550 N.

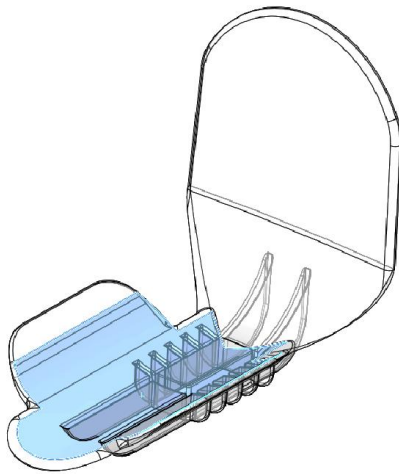
Molempien tukien rasittavimmat kohdat ovat kiinnityskohdan sisäalareunassa, jolloin voima kohdistuu viivamaisesti pelkästään seinämän sisäpuolella olevaan pyöristettyyn sivukulmaan (ks. kuvio 19 ja kuvio 20). Tällainen rasittavin tilanne syntyy silloin, kun käyttötilanteessa asiakas saattaa liikuttaa jalkaa tuen keskilinjalta sivulle päin, jolloin kappale lähtee kallistumaan sivulle niin, että sen kiinnityskohdan alareuna painaa suuremmalla voimalla kiinnitysraudan kylkeen kallistuskulman suurentuessa. Simulaatiotilanteessa kiinnityspinnaksi valittiin molemmissa tuissa se pinta, mikä on kosketuksissa asiakkaan jalkaan (ks. kuvio 21 ja kuvio 22).



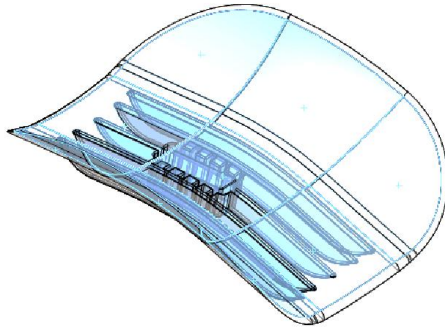
Kuvio 19. Nilkkatukeen kohdistuva voima



Kuvio 20. Polvitukeen kohdistuva voima

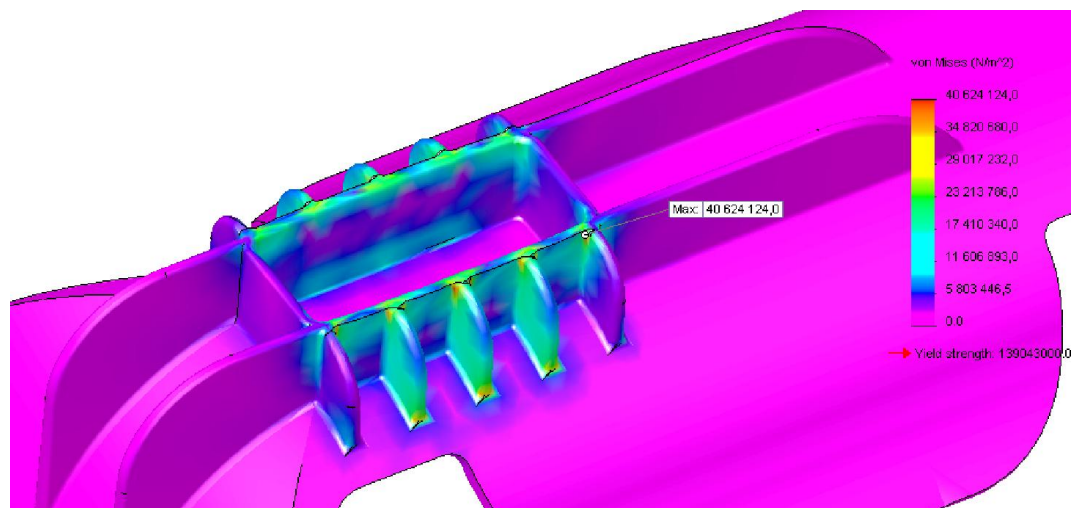


Kuvio 21. Nilkkatuen kiinnityspinta

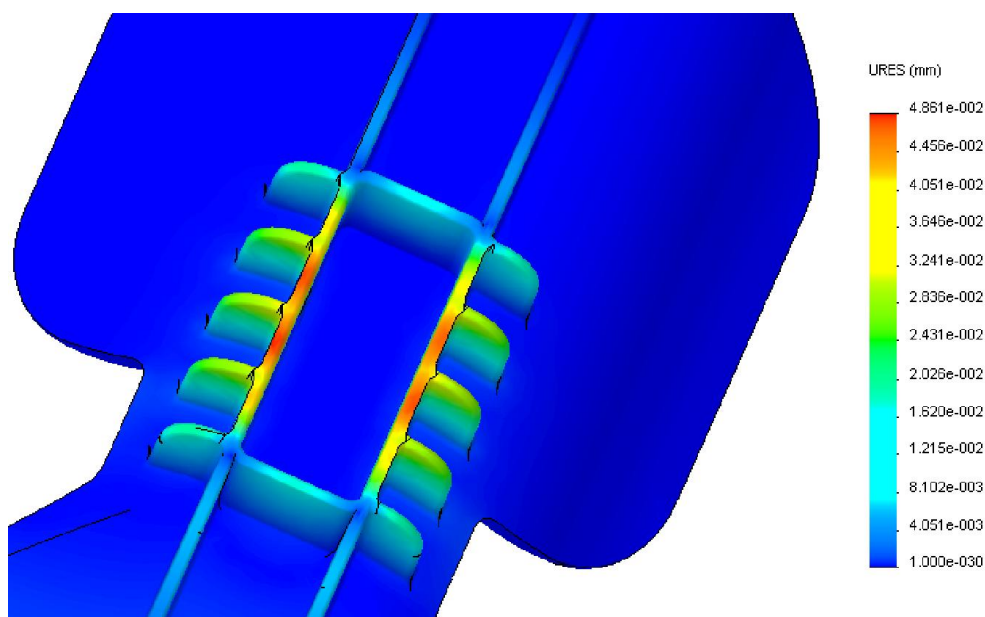


Kuvio 22. Polvituen kiinnityspinta

Nilkkatuen simuloinnin tuloksista nähtiin (ks. kuvio 23), että valitun materiaalin PA 6/10 myötölujuus oli arvollaan $139\,043\,000,0\text{ N/m}^2$ pienempi kuin mitä kappale joutuu kestäämään suurimman rasituksen alaisena. Suurimman rasituksen arvo oli $40\,624\,124,0\text{ N/m}^2$. Näin ollen kappale kesti. Nilkkatuen tukikohdan rasituksen alainen seinämän siirtymä on esitetty kuviossa 24. Siirtymä oli suurimmillaan kiinnityskohdan pitkittäisrivillä ja sen keskikohdalla arvolla $4,861 \times 10^{-2}\text{ mm}$.

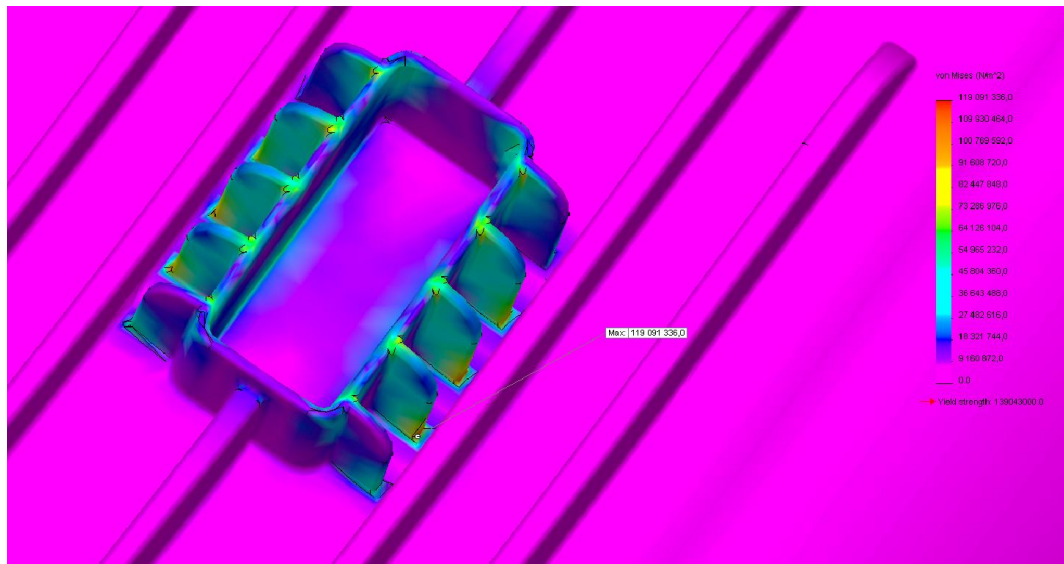


Kuvio 23. Nilkkatuen rasitus

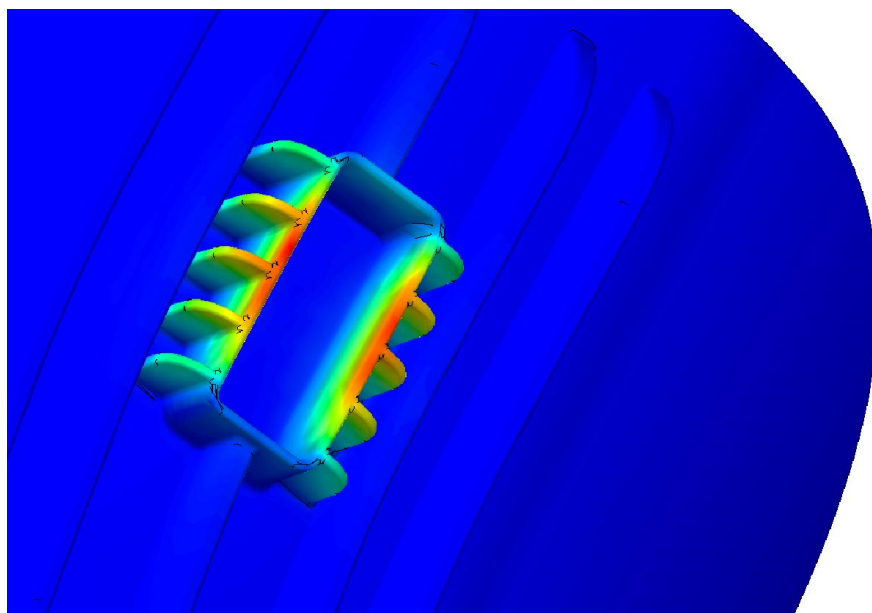


Kuvio 24. Nilkkatuen siirtymä

Myös polvituen simuloinnin tuloksista voitiin havaita (ks. kuvio 25), että valitun materiaalin PA 6/10 myötölujuus oli arvolla $139\,043\,000,0\text{ N/m}^2$ pienempi kuin mitä kappale joutuu kestämään suurimman rasituksen alaisena. Suurimman rasituksen arvo oli $119\,091\,336,0\text{ N/m}^2$. Näin ollen tässäkin yhteydessä kappale kesti. Nilkkatuen tukikohdan rasituksen alainen seinämän siirtymä on esitetty kuviossa 26. Siirtymä oli suurimmillaan kiinnityskohdan pitkittäissivulla ja sen keskikohdalla arvolla $1,907 \times 10^{-1}\text{ mm}$. Molemmat tuet kestivät hyvin niihin kohdistuvan suurimman rasituksen. Koska kappale on hyvä suunnitella kestävämmäksi, jos se ei aiheuta turhia lisäkustannuksia, ei kappaleiden muotoja muutettu, vaikka tuet kestävätkin suuremman rasituksen kuin, mitä niiltä vaaditaan.



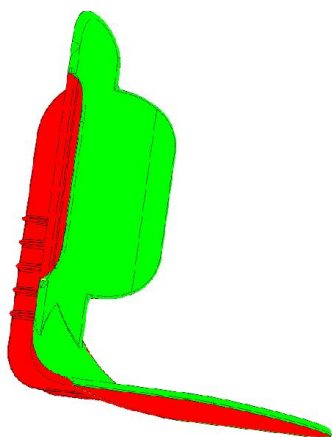
Kuvio 25. Polvituen rasitus



Kuvio 26. Polvituen siirtymä

Nilkkatuen valmistettavuus muottien avulla tarkistettiin SolidWorks- ohjelman Draft Analysis- toiminnolla. Tämä kautta nähtiin, jääkö valukappale joltain osin kiinni muottiin vai onko kappaleen joka kohtaan tehty päästö (ks. kuvio 27). Näiden päästöjen avulla valettava kappale irtoaa muotista rikkomatta halutun tuotteen pintaa. Aluksi

määritettiin, mihin suuntaan muotti aukeaa. Muotin suunta on ollut tuotesuunnitelun lähtökohtana, jotta tuote olisi valmistettavissa. Ohjelma näytti positiivisena ja negatiivisena päästönä eri suuntaan aukeavat muotin puolet eli koiras- ja naarasmuotin liikkeet. Ohjelma erotti nämä toisistaan eri värityksellä. Ohjelma myös näyttäisi vielä kolmannella värillä kohdat, mihin ei ole mallinnettu päästöjä.



Kuvio 27. Nilkkatuen Draft Analysis -kuva

7.1.4 Kipsaustelineen lisätuotemuutokset

Muutosehdotukset

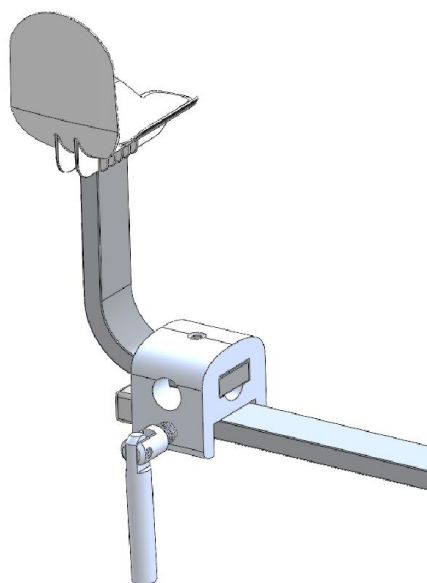
Muutettujen nilkka- ja polvitukien pikamallinnusosien valmistuksen jälkeen kipsaustelinettä esiteltiin tuoteidean keksijöille ylilääkärille ja lääkintävahtimestarille. Heidän muutosehdotukset nilkkatukeen oli tuen alareunan muuttaminen niin, että se ei tule painamaan potilaan akillesjännettä. Polvitukeen ei tullut muutosehdotuksia. Telineen lateraalisäätölukkojen tulisi olla niin, että lukon väleihin ei voi kertyä nestettä, jota käytetään, kun kipsausta suoritetaan. Lukot olisi hyvä myös kiinnittää niin, että liikkuva osa kiinnittyy lukon alempaan kiinnityskohtaan, jolloin tukirauta kiinnittyy lukoon tukevammin eikä rauta heiluisi sivuttaissuunnassa. Telineen runkoon kiinnitty-

vien lukkojen tulisi liikkua jouhevammin ja näiden lukkojen liikkumisesta aiheutuva osien materiaalista johtuva metallirahinaääni olisi hyvä poistaa.

Muutoksien toteuttaminen

Tuoteideat muutettiin niin, että nilkkatuen alareunan kärjen pyöritys muutettiin suuremmaksi ja niin, että se vaihtuu koko ajan suuremmaksi kohti kappaleen kärkeä. Samalla kappaleen kärjen sivusyrjien pyöristykset muutettiin suuremmaksi, jotta kärjen pyöristykset oli mahdollista laittaa niin suureksi kuin haluttiin. Näiden muutosten jälkeen nilkkatuen alareuna muuttui loivemmin, jolloin sen reuna ei paina asiakkaan jalkaa.

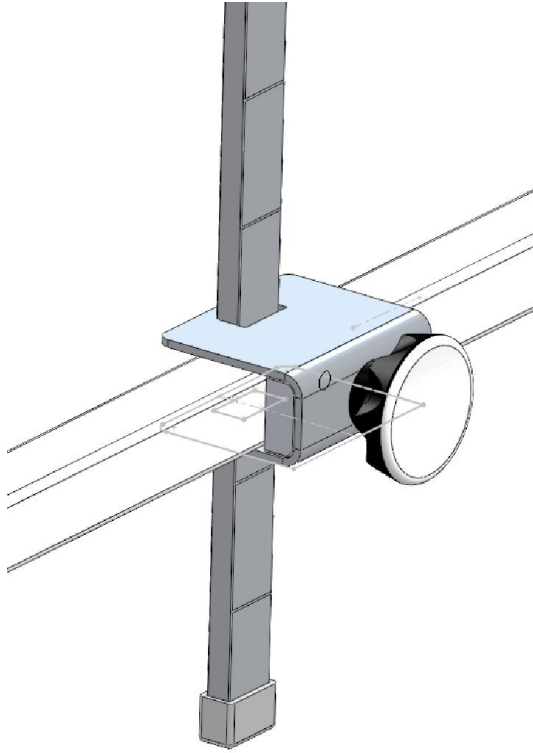
Lateraalisäädön mahdollistavat lukot muutettiin kiinnitykseltään niin, että ne kiinnittyvät lukon ylemmästä kiinnitysosasta tukirautaan, joka ei liiku (ks. kuvio 28). Lukko kiinnitetään tukirautaan pidätinruuvilla, joka uppoaa kokonaan lukon reiän sisälle. Lukon rakenteisiin ei pääse kertymään nestettä verrattuna tilanteeseen, kun lukko olisi toisin päin. Liikkuvan osan kiinnityksen ollessa lukon alemmassa osiossa tukevoittuu tukiraudan kiinnitys eikä tukirauta pääse liikkumaan sivuttaissuunnassa. Kipsaus-telineen kiinnityksen ollessa tällainen muutettiin tukirautojen lateraalisuunnassa pituudet niin, että lyhyempi tukirauta oli myös lyhyempi sivulle päin ja pidempi tukirauta oli pidempi sivulle päin.



Kuvio 28. Muutettu lateraalisäätö

Runkoon kiinnittyvien lukkojen liikkumisen parantamiseksi lisättiin lukon ja rungon väliin muovikappale (ks. kuvio 29). Tämä edesauttoi lukon liikkumista eikä lukon reuna lähtenyt heijaamaan liikesuuntaan vastaan. Tämä ei kuitenkaan poistanut lukon rakenteen aiheuttamaa kiinnittymistä telineen runkoon kiinni, kun lukkoa liikutettiin. Kiinnittyminen tapahtui voiman tullessa kulmasta. Tukirunko kallistui ja tuli rajapintoja, jotka ikään kuin jämähtivät kiinni toisiinsa ja liike estyi. Tukien kiinnittyminen telineen runkoon tapahtui sitä herkemmin, mitä korkeammalta tukea liikuteltiin. Mitä ylempää eli kauempaa tukea liikuteltiin, sitä pienempi liike tarvittiin tukiraudan saman matkan liikuttamiseksi lukon sisällä. Tukivarren liikuttamisen tapahtuessa tukivarren alaosaan niin, että toinen käsi oli tukivarren alaosassa kiinni ja toinen käsi oli lukon nupissa ja tällä kädellä, jos vielä hieman painoi nuppia runkoa kohti, liikkui lukko moitteettomasti telineen runkoa pitkin. Toinen käsi on mahdollisesti nupissa kiinni, kun tukivartta liikutetaan, koska toiminta ei ole suunniteltu yhdellä kädellä toteutettavaksi. Näin ollen voidaan ajatella, että käsi on juuri lukossa kiinni, koska halutun kohdan löydettäessä pitää lukko kiinnittää telineen runkoon kiinni. Lukon painaminen telineen runkoa vasten ei välttämättä ole sellainen asia, minkä käyttäjä ymmär-

täisi tukirautoja liikuteltaessa. Mitä nopeammin käyttäjä pystyy käyttämään tuotetta oikein ja turvallisesti, sitä paremmin se vastaa asiakkaiden tarpeisiin ja tuote on hyvä. Näin ollen hyvässä tuotteessa ei voi olla ominaisuutta, jota käyttäjä ei ymmärrä.



Kuvio 29. Muovikappale lukon ja rungon välissä

Kipsaustelineen tukirautoja, nilkka- ja polvitukia voidaan käyttää myös leikkaussalin pöydän kanssa, jolloin tukiraudat kiinnitetään pöydän lisävarustekiskoon omanlaisella lukolla. Tämä lukko oli jo suunniteltu valmiiksi ja siitä oli valmistettu protoversio. Lukko ei pitänyt sisällään lukon käytössä tarvittavaa kiristystappia ja sen päähän kiinnitettävää nuppia. Tämän valinnassa kokeiltiin eri halkaisijaltaan olevia nuppeja, joiden kiristäminen tapahtui eri kiristyskierroksien määrällä. Samalla testattiin nuppien toimivuutta käyttötilanteessa. Lopulta päädyttiin nuppien välimalliin, jonka koko oli samansuuruinen kuin kipsaustelineen korkeuden säätönupit olivat. Tämä pyöreän mallinen nuppi oli käyttäjäystävällisempi kuin kipsaustelineen lateraalisäädön mah-

dollistavan lukon tangomaiset kiristystapit. Nämä lukot kuuluvat Merivaaran tuotevalikoimaan ja kiristystapit kuuluvat lukon kokonaisuuteen, jolloin säätötappeja ei vaihdettu säästösyistä samoiksi kuin mitä kipsaustelineen muut nupit ovat.

Muut huomiot

Koetilanteessa toinen tuoteidean keksijä oli ajatellut, tuotteeseen voisi vielä varmuuden vuoksi käyttää tarranauhaa, jotta jalan suora linja pysyisi varmasti kipsaustelineessä. Idea oli hyvin käyttäjälähtöinen. Nilkkatuen takaseinämään kiinnitettäisiin pieni osa tarranauhan vastakappaletta ja tarranauha kiedottaisiin nilkan ympärille niin, että sen molemmat päät kiinnittyisivät tarranauhan vastakappaleeseen. Tämä tarranauha kiedottaisiin sitten, kun kipsin alussukka on pujotettu asiakkaan jalkaan ja jalka asetettu nilkka- ja polvitukien päälle. Tämän jälkeen tarranauha pitää jalan oikeassa linjassa. Ennen nilkan ympärille kipsaussiteen asettamista tarranauha otettaisiin pois. Tarranauhan vastinkappale voisi jäädä nilkkatukeen kiinni ja myös kipsin alle, koska sen poistaminen kipsaustilanteessa ei olisi luontevaan tiukan liimauskiinnityksen vuoksi eikä siitä ole mitään haittaa kipsin alla. Tarranauhaa voitaisiin käyttää monta kertaa, kun taas tarranauhan vastakappale olisi kertakäyttöinen. Tarranauha on polyamidia, joka näin ollen voidaan kierrättää.

Koetilanteessa tuotteen käyttäjät antoivat ymmärtää, että tuotteeseen tehdyt muutokset, joista he olivat aikaisemmin sanoneet, oli toteutettu niin kuin he olivat ajatelleet. Nilkkatuen alareunan suuri mitta, jota tuotteen mallinnuksessa mietittiin, ei ollut haitaksi. Heidän mielestä pitkä alareuna voi käytössä osoittautua vielä paremmaksi, miltä se tuntui koetilanteessa. Suuri mitta takaa sen, että jalka lepää tuen päällä paremmin. Toisaalta käyttäjä saattaa arvioida tuotetta myös pelkästään tuotteen ulkonäön perusteella. Nilkkatuki näyttää tukevammalta, mitä aikaisempi nilkkatuen pikamallinnusosa oli, jolloin se saattaa myös käyttäjästä tuntua vakaammalta ja luotetavammalta, vaikka tuki ei oikeasti edes tukisi paremmin kipsaustilanteessa.

7.2 Materiaalivalintaprosessi

Materiaalivalintaprosessissa lähdettiin liikkeelle määrittämällä ensiksi tuotteen tehtävä ja kartoittamalla sen toiminnot. Nämä voivat ilmetä jo silloin, kun tuotteelle tulee markkinointitarve tai tuoteinnovaation kautta herää ajatus toteuttaa kyseinen tuote. Tämän jälkeen määritettiin vaatimusprofiili (ks. taulukko 2), joka pitää sisällään kaikki tuotteeseen ja materiaaliin kohdistuvat vaatimukset, kun tuotetta käytetään. Materiaalille kohdistuvat vaatimukset on tuotteelta halutut toiminnot, käyttöympäristöt ja valmistuksen menetelmät. Näiden tuotteelta haluttujen toimintojen ja sen käyttöympäristön pohjalta laadittiin tuotevaatimusprofiili. Lopputulokseksi saatiin materiaalivaatimukset. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 249.)

Taulukko 2. Materiaalin vaatimusprofiili

A. Toimintojen vaatimukset
<p>Muodon säilyttäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote tulee joltain osin säilyttää muotonsa ja joltain osin sen pitää joustaa, jolloin muovin jäykkyyden oltava riittävän elastinen (kimmoisuus), jotta itse kipsi pääsee muovautumaan jalan ympärille. <p>Iskujen ja tärähdysten kestävyys</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote tulee olla iskunkestävä potilaan kohdistuessa oman painonsa tuotteeseen esim. ottaessa askelta, joten muovin iskunkestävyyden oltava riittävä, jotta halkeamia ei ilmene käytön aikana. <p>Kuormankantokyky</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote tulee kantaa potilaan jalan paino kipsauksen aikana, joten muovin jäykkyyden oltava riittävä, jotta se tukee potilasta kipsauksen aikana ja kipsin kiveydessä. <p>Materiaalin siisteys ja hygieenisuus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Materiaali tulee olla hyväksytty ihokontaktiin. - Tuotet ovat kertakäyttöisiä.
B. Ympäristön vaatimukset

<p>Kosteuden sietokyky</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote tulee kosketuksiin veden kanssa, jolloin veden mahdollinen imeytymisen otettava huomioon. <p>Ympäristöystävällisyys</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuotteen valmistus, käyttö ja kierrätys tulee olla ympäristöystävällinen. <p>Biologiset vaikutukset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote ei saa sen kemiallisten aineiden kautta aiheuttaa elimistön toiminnan häiriöitä tai rakenteellisia vaurioita.
C. Valmistettavuuden vaatimukset
<p>Tuotantomäärät pieniä</p> <ul style="list-style-type: none"> - Piensarjatuotanto
D. Kustannusten vaatimukset
<p>Valmistusmäärät pieniä</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muotin valmistus on merkittävä osa kokonaiskustannuksia. - Materiaalin hinnan tulee olla alhainen tuotteen ollessa kertakäyttöinen. <p>Käytönaikaiset kustannukset pienet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kertakäyttöinen tuote. <p>Kierrätettävyyden ja uusiokäyttö suotavia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kustannukset vaikeasti arvioitavissa, mutta todennäköisesti ovat suuret.

Taulukko 2 selventää, mitä kaikkea suunnittelijan pitää ottaa huomioon tuotteen materiaalivalinnassa. Taulukon kaikki kohdat eivät ole sellaisia, että suunnittelija hallitsisi ne. Näin ollen suunnittelija etsii tiedon niiltä, jotka osaavat vastata näihin kohtiin. Yleisesti suunnittelija ottaa helposti huomioon materiaalia valittaessa vain laitteen toiminnot ja ympäristön mekaaniset vaatimukset, jolloin muut kohdat jäävät huomiotta. Näin ollen joidenkin osa-alueiden poisjättäminen kasvattaa vaurioiden ja onnettomuuksien riskiä huomattavasti. Näiden vaurioiden kautta saatu tieto valitun materiaalin väärästä valinnasta voidaan mieltää passiiviseksi materiaalivalinnaksi. Näin toimiva yritys voi antaa itsestään negatiivista mainosta, joka taas voi kaiken kaikkiaan tulla yritykselle kalliimmaksi, koska myynti voi heikentyä huonojen materiaalivalintojen kautta. Käyttöolosuhteiden tai tuotteen toiminnan muutoksien vaikutukset on tärkeää ottaa huomioon materiaalivalinnassa. (Kleemola 1977, 10).

Vaatimusprofiilin jälkeen päätettiin valintastrategia, joka on alhainen myyntihinta tuotteen ollessa kertakäyttöinen, jolloin valmistuskustannuksetkin pitää olla mahdollisimman vähäiset. Näin ollen käytön aikaisten kustannukset saattaisivat nousta. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 251.) Tässä yhteydessä näin ei kuitenkaan tapahdu, koska tuote on kertakäyttöinen.

Tämän jälkeen tehtiin materiaalin karkea esivalinta. Tapahtumassa jätettiin kaikki epätodennäköiset materiaalit ja materiaalityhmät pois. Tämän tapahtuman jälkeen on ajatuksena, että on vain järkevän kokoinen joukko eri materiaaleja. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 251.) Tuotteen materiaaliksi oli alusta alkaen päätetty, että materiaalina on muovi. Näin ollen tässä kohtaa oli poissuljettu kaikki muut materiaalit, kuten esimerkiksi metallit.

Ominaisuusprofiilin laadinta oli seuraava toimenpide, mikä laadittiin materiaalille. Tämä kuvastaa materiaalin vastaavuutta ominaisuuksiltaan vaatimusprofiilin sisältämiin vaatimuksiin (ks. taulukko 3). Ominaisuusprofiilista käy ilmi, mitä ominaisuuksia asetetut vaatimukset edellyttävät, mitkä ovat nämä ominaisuudet, jotka tulevat eri materiaalien kohdalla esille ja mikä on näiden ominaisuuksien painoarvo tuotteen toiminnan kannalta. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 251.)

Taulukko 3. Tukien ominaisuusprofiili vaatimusprofiilin pohjalta

Vaatus	Ominaisuudet
A. Toiminnot	
<ul style="list-style-type: none"> - Muodon säilyttäminen - Iskujen ja tärähdysten kestävyys - Kuormankantokyky - Siisteys ja hygieenisuus 	<ul style="list-style-type: none"> - Kimmomoduuli - Iskulujuus - Myötö- ja murtolujuus - Käytetyt täyteaineet
B. Käyttöympäristö	
<ul style="list-style-type: none"> - Kosteus - Ympäristö - Biologiset vaikutukset 	<ul style="list-style-type: none"> - Veden imeytyminen, stabiilisuus - Ympäristöystävällinen - Toksisuus
C. Valmistuksen vaatimukset	
<ul style="list-style-type: none"> - Valmistusmenetelmä 	<ul style="list-style-type: none"> - Ruiskuvalu
D. Kustannukset	
<ul style="list-style-type: none"> - Valmistuskustannukset - Kierrätettävyys ja uusiokäyttö 	<ul style="list-style-type: none"> - Muotin hinta - Keräily-, lajittelu- ja uudelleenprosessointikustannukset

Tämän jälkeen ominaisuusprofiilin sisältämät ominaisuudet ilmaistiin numeroarvoina (ks. taulukko 4). Taulukkoon ei otettu huomioon kustannuksia. Tämän ominaisuuden vertailukelpoiset arvot saadaan selville, kun tuote viedään tuotantoon ja eri valmistajien kustannukset ovat selvillä. Myöskään käyttöympäristöön kuuluva ympäristön ja biologisten vaikutuksien vaatimuksia otettu huomioon tässä kohtaa, koska ne havaittiin liian myöhään. Ominaisuudet laitettiin tämän jälkeen paremmuusjärjestykseen. Ensin laitettiin ominaisuusprofiilin numeroarvoilla olevat arvot vertailukelpoisiksi niin (ks. taulukko 5), että sopivin luku sai tunnuksesi kaksi plusmerkkiä ja toiseksi parhain sai yhden plusmerkin. Miinusmerkki ja kaksi miinusmerkkiä laitettiin heikommille arvoille. Nämä muutettiin niin, että parhain ominaisuus sai arvoksi 100 ja muut heikommät saivat tätä pienemmät arvot (ks. taulukko 6). (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 251–252.)

Taulukko 4. Tukien ominaisuusprofiili numeroarvoilla

Ominaisuus		Suuritiheys- polyeteeni, PE-HD	Polypro- peeni, PP	Jäykkä poly- vinyyliklori- di, PVC	PA 12 + GF	PA 6/10
Kimmomoduuli, MPa	A	940–1090	1030– 1720	1060–9650	8960	8270
Iskulujuus, kJ/m ² Charpy, loveamaton	B	9	>65	<10	80	1121
Murtolujuus, MPa	C	15–25	30–41	34–62	150	145
Käytetyt täyteaineet	D	-	-	-	50 % GF	30 % lasi- kuitu
Veden imeytyminen, %	E	0	0	0,02 – 0,4	0,8	0,24
Ruiskuvalu	F	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

Taulukko 5. Materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko symboleilla

Ominaisuus		Suuritiheys- polyeteeni, PE-HD	Polypro- peeni, PP	Jäykkä po- lyvinyyliklo- ridi, PVC	PA 12 + GF	PA 6/10
Kimmomoduuli, MPa	A	--	--	+	++	++
Iskulujuus, kJ/m ² Charpy, loveamaton	B	--	-	--	-	++
Murtolujuus, MPa	C	--	-	-	++	++
Käytetyt täyteaineet	D	++	++	++	--	-
Veden imeytyminen, %	E	++	++	+	--	-
Ruiskuvalu	F	++	++	++	++	++

Taulukko 6. Materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko arvoilla

Ominaisuus		Suuritiheys- polyeteeni, PE-HD	Polypro- peeni, PP	Jäykkä poly- vinyylidikloridi, PVC	PA 12 + GF	PA 6/10
Kimmomoduuli, MPa	A	25	25	75	100	100
Iskulujuus, kJ/m ² Charpy, loveamaton	B	25	50	25	50	100
Murtolujuus, MPa	C	25	50	50	100	100
Käytetyt täyteaineet	D	100	100	100	25	50
Veden imeytyminen, %	E	100	100	75	25	50
Ruiskuvalu	F	100	100	100	100	100

Parhaimman kimmomoduulin valitseminen pelkästään arvojen perusteella oli hyvin vaikeaa. Tuotteen tulisi säilyttää muotonsa, mutta tuotteen tulisi myös joustaa tietyiltä osilta. Tämä otettiin huomioon tuotteen muodossa, jotta tuotteen halutut osat pystyvät joustamaan ja halutut osat ovat jäykkiä. Näiden kummankin ominaisuuden huomioonottaminen ja pelkästään arvojen perusteella valitseminen oli haastavaa. On vaikeaa tietää, milloin tuotteen muoto oli milläkin arvolla oikean muotoinen. Tämä pitäisi testata käytännössä. Tuotteen tulisi kestää iskuja samanarvoisesti materiaalin kimmomoduulin arvon kanssa. Tuotteen kimmomoduuli oli myös yhtä arvokas kuin kappaleen kuormankantokyky. Materiaalin kimmomoduuli valittiin tärkeämmäksi kuin materiaalin käytetyt täyteaineet, koska ajateltiin, että käytettyjä täyteaineiden laatua ja määrää voidaan muuttaa halutessa, jos ne eivät sovellu ihokontaktiin. Kimmomoduuli valittiin tärkeämmäksi kuin veden imeytyminen.

Tämä jälkeen määritettiin ominaisuuksien painokerroin (ks. taulukko 7). Taulukko tehtiin niin, että laskevan suoran aakosrivistön kirjaimen vastaavaa ominaisuutta verrattiin vuorotellen ylimmällä rivillä olevan kirjaimen vastaavaan ominaisuuteen. Molemmat kirjainrivien fontit lihavoitiin taulukon hahmottamiseksi. Ominaisuuksien ollessa samanarvoisia laitettiin ruutuun molemmat kirjaimet.

Taulukko 7. Materiaaliominaisuuksien painokertoimet

	B	C	D	E	F
A	AB	AC	A	A	F
	B	C	B	B	F
		C	C	C	F
			D	D	F
				E	F

Ominaisuuspainokertoimen jälkeen laskettiin vertailuluvut (ks. taulukko 8). Tässä ensimmäinen sarake, W1-6, on ominaisuuden painokerroin, joka saatiin laskemalla kunkin ominaisuuden vastaavan aakkosten määrät taulukossa 7. Tummempia aakkosia ei kuitenkaan otettu laskuissa huomioon. Sarakkeen arvo kerrottiin esimerkiksi M1 arvolla, jonka tulos laitettiin sarakkeeseen WM1. Kyseisen sarakkeen kokonaisarvo laitettiin taulukon alimmalle riville ja tällä tavalla täytettiin koko taulukko.

Taulukko 8. Materiaaliominaisuuksien vertailulukujen laskeminen

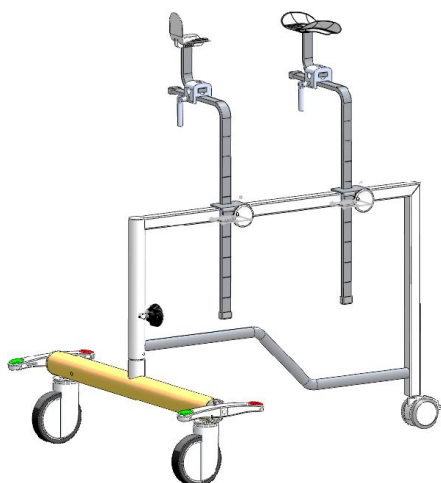
	W1-6	M1	WM1	M2	WM2	M3	WM3	M4	WM4	M5	WM5
A	4	25	100	25	100	75	300	100	400	100	400
B	3	25	75	50	150	25	75	50	150	100	300
C	3	25	75	50	150	50	150	100	300	100	300
D	1	100	100	100	100	100	100	25	25	50	50
E	0	100	0	100	0	75	0	25	0	50	0
F	5	100	500	100	500	100	500	100	500	100	500
			850		1000		1125		1375		1550

8 Tutkimustyön tulokset

8.1 Lopullinen kipsausteline

8.1.1 Kipsaustelineen runko

Kipsaustelineen protoversio kaksi on kuvion 30 mukainen. Kipsausteline on liikuteltavissa. Siinä on kolme pyörää, jotka pystytään lukitsemaan. Kipsaustelineen tukiraudat voidaan säätää korkeus- ja lateraalisuunnassa. Korkeusmitan säätömahdollisuus on 444 mm ja lateraalisuunnan 150 mm. Kipsaustelineen kokoonpanopiirustus on liitteessä 4, josta ilmenevät kokoonpanon osat, kokoonpanon tarkat mitat ja kokoonpanon eri säätömahdollisuudet kuvana ja mittoina.



Kuvio 30. Kipsaustelineen toinen protoversio

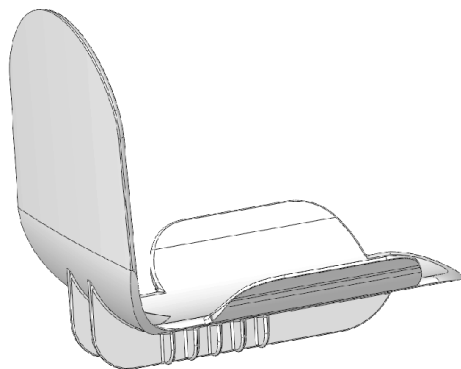
Kipsaustelineeseen tehtiin lateraalisäätö. Tämän vuoksi tukiraudat tehtiin kahdesta eri osasta ja lyhyempi tukirauta kiinnitettiin pidätinruuvilla kiinni lukkoon. Lukon sisältä menevä toinen tukirauta on mahdollista kiristää lukon ruuvilla haluttuun kohtaan. Kipsaustelineen tukirautojen korkeussäätölukkojen reikiä muutettiin niin, että kipsaustelineen tukiraudat ovat tukevammin kiinni. Näiden lukkojen liikkumista myös parannettiin. Tämä toteutettiin lisäämällä lukon ja kipsaustelineen rungon väliin

muovikappaleet, jolloin lukko liikkui putkea pitkin tasaisesti eikä heiluen niin kuin ensimmäisessä protoversiossa. Tukirautojen molempiin päihin on tarkoitus myöhemmin lisätä vielä tulpat liimaamalla kiinni, jotta pienempi tukirauta ei pääse tippumaan telineestä eivätkä tukirautojen päät pääse vahingoittamaan käyttäjiä.

Kipsaustelinettä voidaan käyttää vuodeosastolla ja leikkaussalissa. Kipsaustelineen tukiraudat voidaan kiinnittää leikkaussalipöydän lisävarustekiskoon lukolla kiinni. Tämä lukko on eri kuin kipsaustelineen lukko. Kipsaustelineen toisen protoversion suunnittelun aikana valmistettiin tämä leikkaussalipöytään kiinnitettävän lukon prototuote loppuun. Lukko testattiin ja siihen valmistettiin sopiva kiinnitysruuvi.

8.1.2 Nilkkatuki

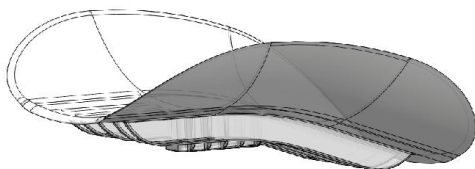
Lopullinen nilkkatuki on kuvion 31 mukainen. Nilkkatukea suurennettiin lisäämällä pituutta 75 % ja leveyttä 50 %. Nilkkatuen kiinnityskohdan seinämän korkeutta kasvatettiin 3 mm, jotta kiinnitys on tukevampi. Samalla myös rivoituksen korkeus tehtiin samankorkuiseksi kuin kiinnityskohdan seinämä. Kiinnityskohdan seinämän sivulle tehtiin viisi ripaa, jotta tuki kestäisi maksimaalisen sivuttaisrasituksen. Nilkkatuen alareunassa olevia rivoituksia jatkettiin yli kiinnityskohdan, jotta kiinnityskohta ei jäisi kipsin ulkopuolelle. Nilkkatuen muotoa muutettiin niin, että siihen ei synny sisäisiä jännityksiä ruiskuvaluvalmistuksessa. Nilkkatuen alareunan kärjen pyöristys muutettiin, jotta se ei paina potilaan akillesjännettä. Liitteessä 2 on esitetty tuotteen tarkat mitat.



Kuvio 31. Lopullinen nilkkatuki

8.1.3 Polvituki

Lopullinen polvituki on kuvion 32 mukainen. Polvituen kiinnityskohta muutettiin 3 mm syvemmäksi, jotta sen kiinnitys kipsaustelineeseen olisi tukevampi. Kiinnityskohdan yläreuna laitettiin kohtisuoraksi seinämiä vasten, jotta kiinnitystuen yläreuna pääsee koko pinta-alaltaan kosketuksiin polvituen kanssa. Polvituen jäykistysripojen korkeutta kasvatettiin, jotta kiinnityskohta ei jäisi kipsin ulkopuolelle. Kiinnityskohdan seinämää vahvistettiin laittamalla ripoja viisi jokaiselle sivulle, jotta kiinnityskohdan kestäisi sivuttaissuuntaisen rasituksen. Kiinnityskohdan viereisten ripojen etäisyyttä kiinnityskohdasta kasvatettiin, jotta kiinnityskohdan seinämään tehdyt rivat mahdollisivat jäykistysripojen väliin. Lisäksi polvituen seinämäpaksuutta muutettiin, jotta tuotteen valmistus ruiskuvalumenetelmällä olisi mahdollista ilman, että tuotteeseen syntyisi valmistuksen aikana sisäisiä jännityksiä.



Kuvio 32. Lopullinen polvituki

8.2 Materiaalivalinnaksi erikoispolyamidi

Materiaalivalinnan lopullinen tulos saatiin, kun oli tehty ensiksi materiaalin vaatimus- ja ominaisuusprofiili, materiaaliominaisuuksien vertaileminen ja laskettu ominaisuuksien vertailuluvut. Tuloksena saatiin korkeimmat pistemäärät teknisille polyamideille PA 12 ja PA 6/10 (ks. taulukko 9). Taulukon suurimmat luvut 1375 ja 1550 vastaavat materiaalia PA 12 ja PA 6/10. Näiden aineiden kimmomoduuli, iskulujuus ja murtolujuusarvot ovat suurimmat verrattuna muihin vertailussa olleisiin muovilaatuihin.

Nämä ominaisuudet takaavat, että nilkka- ja polvitukien muoto säilyy paremmin sekä iskujen ja tärähdysten kestävyys ja kuormankantokyky ovat paremmat. Toisaalta näissä materiaaleissa on käytetty täyteainetta eli ne reagoivat muihin aineisiin. Tämä ilmenee veden imeytymisessä. Kaikkia materiaaleja voidaan valmistaa ruiskuvalulla, mikä nostaa kaikkien materiaalivaihtoehtojen pistemäärää saman verran.

Taulukko 9. Materiaalivalinnan tulos

WM1	WM2	WM3	WM4	WM5
850	1000	1125	1375	1550

Arvoja voidaan verrata näin keskenään numeerisesti, mutta loppujen lopuksi otetaan huomioon myös materiaalien rajaehdot. Näitä ovat esimerkiksi materiaalin saataavuus, standardit, valintaan vaikuttavat säädökset, imago ja kierrätettävyys. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 254.)

Tämän ensimmäisen materiaalivalintatuloksen jälkeen voidaan valituista materiaaleista tehdä tuotteen protoversiot. Näin niin suunnittelija itse kuin asiakaskin voivat testata tuotetta sen lopullisissa käyttöolosuhteissa. Näiden saatujen kokemusten ja palautteen perusteella voidaan tehdä uudelleenarvioinnit. Tarpeen vaatiessa voidaan palata valintaprosessin haluttuun kohtaan tai aivan alkuunkin, jolloin määritetään tuotteelle uudelleen vaatimusprofiili. Materiaalivalintaprosessi voi myös kestää koko

tuotteen eliniän. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomiokoski 2008, 254.)

Materiaalivalinnassa jätettiin pois käyttöympäristöön kuuluvat ympäristön ja biologisten vaikutuksien vaatimukset. Niiden vaikutus havaittiin liian myöhään, jotta ne olisi voitu ottaa vielä huomioon vielä. Nämä tulee kuitenkin ottaa huomioon, kun työtä jatketaan, jotta saadaan kattavampi materiaalivalinta.

PA 12 ja PA 6/10

Muovien PA 12 ja PA 6/10 olomuotomuutoksien aikana materiaalien molekyylit muodostavat kiderakenteen eli materiaalit ovat osakiteisiä. Materiaaleilla on siis tarkka sulamispiste, suuri kutistuma työssä, epätasainen kutistuman laatu, hyvä kemikaalien kestävyys, jännityssäröily on harvinaista, lämpölaajeneminen suurta ja viuruminen korkeaa. Muovattavuuden mukaan PA 12 ja PA 6/10 ovat termoplastisia eli kestopuoveja. Materiaalit luokitellaan teknillisiin muoveihin. Materiaalien sulamislämpötila kertoo, milloin niiden kristalliitit hajoavat. Nilkka- ja polvituen käyttölämpötila on normaalihuonelämpötila, jolloin materiaali ei pehmene, mekaaniset lujuusominaisuudet eivät heikkene eivätkä ympäristötekijöiden vaikutukset lisäänty. Materiaalit eivät normaalissa huoneenlämmössä myöskään kovetu tai haurastu niin kuin käyttölämpötilan laskiessa tapahtuu. Normaalihuonelämpötilassa käyttölämpötila ei aiheuta materiaaleihin lämpölaajentumaa, mikä olisi valittujen materiaalin kohdalla mahdollista. Tosin lämpölaajentuma pienenee, kun materiaalin kimmokerroin kasvaa, jolloin lämpölaajentuma on pienempi verrattuna materiaaliin, millä kimmokerroin on pienempi. Valituissa materiaaleissa on lujitekuituja, joka vahvistaa muoveja.

Nilkka- ja polvitukiin kohdistuu mekaanisia rasituksia niitä käytettäessä. Tämä voi ilmetä muovissa Hooken kimmoisuutena, kun voima vaikuttaa vain hetken kappaleisiin. Materiaalivalinnassa otettiin huomioon, että tuotteen materiaalissa ei ilmene viskoosista juoksua eikä pidempiaikaista viskoelastisuutta. Kumimaista kimmoisuutta ei valituissa teknisissä muoveissa ilmene, koska ne ovat kestopuoveja eikä niissä ilmene silloittunutta rakennetta. Nilkka- ja polvitukien kestävyys testattiin SolidWorks simulatiolla, josta ilmeni, että PA 6/10 kestää siihen kohdistuvan kuormituksen murtumatta materiaalin myötörajan ollessa suurempi kuin siihen kohdistuvan kuormituksen suuruus. Valitut materiaalit ovat joustavia, jolloin ne eivät murru niitä taivuttaessa vaan nimensä mukaisesti joustavat. Tuotteisiin kohdistuvat muut mekaaniset rasitukset, kimmomoduuli, iskulujuus ja murtolujuus otettiin huomioon, kun materiaalivalintaa tehtiin. Tuotteita käytettäessä niihin kohdistuu ympäristötekijänä vesi, jonka absorboituminen otettiin huomioon tehdessä materiaalivalintaa. Tuotteisiin ei vaiku-

ta muita ympäristötekijöitä, jotka saattaisivat aiheuttaa jännityssäröilyä tuotteisiin. Sisäinen jännityssäröily otettiin huomioon tuotteen suunnittelussa.

8.3 Valmistusmenetelmäksi ruiskuvalu

Materiaalivalinnan tulokseksi saadut materiaalivaihtoehdot PA 12 ja PA 6/10 ovat termoplastisia muoveja. Termoplastisten muovien valmistu tapahtuu ruiskuvalulla tuotekoosta riippumatta. Ruiskuvaluvalmistus on hyvä vaihtoehto tuotemäärän ollessa tuhat tai enemmän. Nilkka- ja polvitukien tuotemäärä ylittää ohjeistetun ruiskuvalulla toteutettavan tuotemäärän, joten tuotantomenetelmä on kannattava. Kipsaustelineen liiketoimintasuunnitelman mukaan tuotteen menekki olisi ensimmäisenä myyntivuonna nilkka- ja polvitukien osalta 1175 kappaletta. Tämä luku muodostuu Suomeen tapahtuvasta 500 kappaleen, Ruotsiin 450 kappaleen ja Norjaan 225 kappaleen myynnistä. Seuraavan vuoden myynnin tukiosien osalta arvioitiin olevan 9100 kappaletta. Tällöin myyntiä tapahtuisi jo Venäjälle ja muualle Eurooppaan. Kolmantena myyntivuonna tuotetta saattaisi mennä kaupaksi edellä mainittujen myyntipaikkojen lisäksi myös muualle maailmaan. Ruiskuvaluun päätyessä hyödytään menetelmän eduista, jotka ovat työstön nopeus, helppous ja edullisuus.

9 Pohdinta

Tutkimustyön tavoitteena oli helpottaa alaraajakipsausta. Kipsaustelineen tuotekehitysprojehti oli aloitettu ja keskeytetty ennen tätä tutkimustyötä. Tämä tutkimustyö aloitettiin siitä, mihin kipsaustelineen tuotekehitysprojehti oli jäänyt. Tutkimustyössä toteutettiin kipsaustelineen ja siihen kiinnitettävien kertakäyttöisten nilkka- ja polvitukien suunnittelu loppuun ja kertakäyttötukiin tehtiin materiaalivalinta. Tutkimustyön tulokseksi saatiin kipsaustelineen toinen protoversio, joka tyydytti asiakkaan vaatimukset. Kipsaustelineen kertakäyttötukien materiaalivaihtoehdoiksi saatiin erikoispolyamidit PA 12 ja PA 6/10.

Nilkka- ja polvitukien materiaaliksi parhaiten soveltuvat erikoismuovit olivat odotettu tulos. Nämä materiaalit ovat tunnettuja hyvistä jäykkyysominaisuuksistaan niissä

olevien lasi- ja hiilikuitujen ansiosta. Näin ollen niiden parhain soveltuvuus tutkittuihin tuotteisiin ei yllättänyt. Oli kuitenkin odottamatonta, että tuotteeseen tehdyt tuotemuutokset toimisivat käytössä niin hyvin. Asiakkaiden muutosideat olivat yksityiskohtaisia, jolloin niiden toteuttaminen muutti tuotteen jotain toista ominaisuutta. Näin esimerkiksi kävi, kun muutettiin nilkkatuen kokoa asiakkaiden toiveiden mukaisesti suuremmaksi. Tuen alareunan pituus kasvoi niin pitkäksi, että suunnittelijan näkökulmasta tuotteesta tuli niin pitkä, että se voisi haitata tuotteen käyttöä. Tapaus vahvistaa sitä, että tuotteen tulee soveltua asiakkaan eikä suunnittelijan käyttöön. Näin ollen asiakkaan on hyvä olla mahdollisimman paljon suunnittelussa mukana.

Materiaalitutkimusprosessintulos on teoreettinen eli se ei perustu tuotteen käyttökokemuksiin. Prosessin kautta tullut tulos on vain suuntaa-antava. Lopullinen tulos tullaan samaan vasta sitten, kun tuotteesta on tehty oikean valmistusmenetelmän kautta protoversio.

Materiaalien ominaisuuksia on haasteellista verrata toisiinsa pelkästään numeroarvojen perusteella. Parhaimman kimmomoduulin valitseminen pelkästään arvojen perusteella on vaikeaa. Tuotteen tulee säilyttää muotonsa, mutta tuotteen tulee myös joustaa tietyiltä osilta. Kummankin ominaisuuden huomioonottaminen ja pelkästään arvojen perusteella valitseminen on haastavaa. Tuoteominaisuudet tulisiikin testata käytännössä. Tämä otettiin huomioon myös tuotteen suunnittelussa.

Materiaalivalintaprosessin epävarmuus syntyi siitä, että prosessi tehtiin vertaamalla kahta ominaisuutta keskenään. Tätä ennen ilmaistiin ominaisuuksien paremmuus ominaisuuden arvon perusteella. On mahdollista, että näiden valinnassa tapahtui virheitä. Materiaalivalinnassa jätettiin pois käyttöympäristöön kuuluvat ympäristön ja biologisten vaikutuksien vaatimukset, koska niiden vaikutus tuotteisiin havaittiin liian myöhään. Ominaisuuksien poisjättäminen toi tulokseen selvän virhetekijän.

Tutkimuksen materiaalivalintaprosessi olisi voitu laajentaa koskemaan myös eri materiaalien valmistamista ja näiden kautta syntyviä eri kustannustekijöitä ja ominaisuuksia, jotka tulevat ilmi valmistuksessa. Tietoina olisi käytetty eri yritysten materiaalitietoja. Tuotesuunnittelun aikana oltiin yhteydessä yhteen mahdolliseen tuote-

valmistajaan, Pdatiin, mutta yritys ei kuitenkaan luovuttanut tarkempia tietoa ennen tarjouksen saamista.

Työn tulokset voidaan jakaa kahteen osioon. Nämä ovat tuotesuunnittelun kautta syntynyt tuote ja tuotteelle materiaalivalinnan kautta saadut materiaalivaihtoehdot. Molempien merkitys on tuotekehityksen kannalta tärkeä. Tuotteella pitää olla muoto, jotta se täyttää asiakkaan vaatimukset. Jotta tuotetta voi käyttää, pitää tuotteella olla myös käyttöön soveltuva materiaali.

Asiakkaalle tämän tuotekehityksen kautta tullut hyöty ei vielä näy, koska tuotetta ei ole vielä valmistettu eivätkä näin ollen asiakkaat pääse hyötymään tuotteesta. Tuotteen mennessä valmistukseen tulee asiakas hyötymään tuotteen sisältämistä ominaisuuksista, jotka ovat kipsauksen työtehokkuuden, resurssikäytön ja työn laadun parantaminen. Merivaara Oy tulee hyötymään tästä tutkimuksesta saaden kyseisen projektin eteenpäin niin tuotesuunnittelun kuin materiaalivalinnan kannalta. Eteenpäin vietynä projektilla on mahdollisuus tulevaisuudessa tuottaa yritykselle myyntiä kipsaustelineiden osalta. Näin ollen niin yritys kuin tuoteidean keksijät ylläkäri ja lääkintävahtimestari tulevat hyötymään tuotteen myynnistä.

Tulevaisuudessa materiaalivalintaprosessin tulos tulisi vahvistaa. Materiaalivalinnassa otettaisiin tällöin huomioon myös materiaalin sisäiset ominaisuudet. Työ vastaisi valittujen materiaalin saatavuuteen, standardeihin, valintaan vaikuttaviin säädöksiin, imagoon ja kierrätettävyyteen. Näin materiaalivalintaprosessi olisi kattavampi ja syvällisempi. Mahdolliset tuotteen valmistavat yritykset pitäisi saada mukaan tutkimukseen, koska heillä on paljon kokemukseen perustuvaa tietoa. Näin materiaalivalinnan tuloksesta saataisiin varmempi ja luotettavampi. Liitteessä 1 on esitelty, mitä töitä tulevaisuudessa projektin loppuun saattamiseksi tulisi tehdä.

Halutessa kipsaustelineestä voitaisiin tehdä tulevaisuudessa parempi ja samalla arvokkaampi versio laittamalla laakerointi tukien korkeussäätölukkoihin. Lukkojen liikkuvuuden parantamisella saataisiin tuotteesta käyttäjäystävällisempi. Kipsaustelineen runkoa voitaisiin myös vahvistaa, jolloin tuotteesta tulisi entistä vakaampi ja kestävämpi.

Kipsaustelineen tuotekehitysprojektista oli tutkittua tietoa ennen tutkimuksen aloittamista. Nämä tiedot helpottivat työn aloittamista. Toisaalta keskeneräisen projektin jatkaminen oli haaste, koska projektin aloittaneilla työntekijöillä oli myös hiljaista tietoa projektista, jota ei ollut kirjattu ylös. Työ eteni suunnitelman mukaisesti. Työn sisällöksi saatiin kokonaisuus, vaikka se pitää sisällään monen alueen tietoja. Näin työ oli monipuolinen kokonaisuus. Tutkimustyön perustuessa asiakkaiden tarpeiden tyydyttämiseen oli työtä myös mielekäs toteuttaa. Palkitsevinta oli, kun asiakkaat olivat tyytyväisiä tuotteeseen.

Tutkimustyössä olisi voinut käyttää enemmän lähteitä. Tutkittujen tietojen löytäminen oli kuitenkin haastavaa, koska muoveista ei löydy niin paljon tutkittua tietoa kuin esimerkiksi metalleista. Työn aikana ei ollut tarkoitus tehdä oikean valmistuksen kautta nilkka- ja polvitukia vaan pelkästään niiden pikamallinnusosat. Lopullinen materiaalivalinnan tulos saadaan tulevaisuudessa, kun tuotteista tehdään protot oikealla valmistusmenetelmällä.

Lähteet

Hakkarainen, M. 2001. Kemia. Jyväskylä: Opetushallitus.

Höök, T. 2009. Muotin perusrakenne. Valuatlas. Viitattu 2.10.2013.
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_structure_FI.pdf

Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 4.10.2013.
<http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Kipsausteline. 2010. Kuva, SolidWorks PDM. Merivaara Oy. Viitattu 15.8.2013.

Kleemola, H. 1977. Materiaalinsuunnittelu. Espoo: Otakustantamo.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, T. & Tuomiokoski, J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.

Laitinen, R. & Toivonen, J. 2003. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Helsinki: Otatieto Oy.

Lääkäripalvelu Bene Finlandia Oy. Koulutus, murtuman hoito. Viitattu 18.9.2013.
<http://www.benefinlandia.fi/koulutus.html>

Mekaaniset ominaisuudet. 2013. Paroc Group. Viitattu 9.8.2013. <http://www.paroc.fi/knowhow/mekaaninen-lujuus-ja-vakaus/mekaaniset-ominaisuudet>

Outinen, H. & Salmi, T. 2004. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Polymeerit. 2013. Materiaalitekniikan laboratoriotyöt. Aalto Yliopisto. Viitattu 10.10.2013. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/puu0.1200/luennot/Puu0_1200_polymeerit.pdf, Noppa-portaali.

Polymeerit. N. d. Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos. Viitattu 7.8.2013. http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4.php

Salmi, T. 2003. Teknillisen mekaniikan perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Seppälä, J. 1999. Polymeeritekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Taimisto, J. 2011. Alumiinin ja teräksen sekaliitoksen hitsaus. Kandidaatintyö ja seminaari. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 1.10.2013. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69779/nbnfi-fe201106011690.pdf?sequence=3>

Yritys. 2013. Merivaaran verkkosivut. Viitattu 3.10.2013. <http://www.merivaara.fi/Yritys/>

Liitteet

Liite 1. Kipsaustelineen tuotekehitysprojektin työtehtävät

Työtehtävä	Ennen tutkimusta	Tutkimustyön aikana	Tutkimustyön jälkeen
Kipsaustelineen suunnittelu	X		
Polven ja nilkan mittaustutkimus kipsaustuen mittareferenssien määrittelymiseksi	X		
Kipsaustelineen nilkka- ja polvitukien suunnittelu	X		
Kipsaustelineen ensimmäisen proton valmistus	X		
Kipsaustelineen nilkka- ja polvitukien ensimmäisten pikamallinnusosien valmistus	X		
Kipsaustelineen esittely asiakkaalle ja alustavat kliiniset testit	X		
Kipsaustelineen suunnittelun jatkaminen		X	
Kipsaustelineen nilkka- ja polvitukien suunnittelun jatkaminen		X	
Kipsaustelineen nilkka- ja polvituen materiaalivalinta		X	
Kipsaustelineen toisen proton valmistus		X	
Kipsaustelineen nilkka- ja polvitukien toisien pikamallinnusosien valmistus		X	
Kipsaustelineen toisen protoversion esittelyminen asiakkaille		X	

Kipsaustelineen suunnittelun jatkaminen		X	
Nilkkatuen suunnittelun jatkaminen		X	
Protosarja oikeilla työkaluilla			X
Virallinen testaus			X
Laadunvarmistus			X
Lopullinen materiaalivalinta			X
Lisädokumentointi			X

Liite 2. Nilkkatuki

Liite poistettu salassapitosyistä.

Liite 3. Polvituki

Liite poistettu salassapitosyistä.

Liite 4. Kipsausteline

Liite poistettu salassapitosyistä.